



Mestrado em: Economia e Política da Energia e do Ambiente

Digestão Anaeróbia.

Um Instrumento para o Desenvolvimento Sustentável

Pedro Rafael Antunes Bragança Fernandes

Orientação: Prof. Doutor Álvaro Gonçalves Martins Monteiro

Presidente do júri: Prof. Doutor Álvaro Gonçalves Martins Monteiro

Vogais: Doutor Rui Manuel Estanco Junqueira Lopes

Doutor Manuel Francisco Pacheco Coelho

Lisboa

Novembro, 2004



Digestão Anaeróbia. Um Instrumento para o Desenvolvimento Sustentável

Pedro Rafael Arruñada Bréguinça Fernandes

Orientador Prof. Doutor Álvaro Gonçalves Martins Almeida

Próximo da prof. Dra. Bráulio Álvaro Gonçalves Almeida Almeida

Verônica, Doutor em Matemática, Professor de Matemática

Verônica, Doutor em Matemática, Professor de Matemática

Lisboa

Novembro 2004



Digestão Anaeróbia. Um Instrumento para o Desenvolvimento Sustentável

Pedro Rafael Antunes Bragança Fernandes

Orientação: Prof. Doutor Álvaro Gonçalves Martins Monteiro

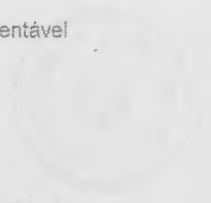
Presidente do júri: Prof. Doutor Álvaro Gonçalves Martins Monteiro

Vogais: Doutor Rui Manuel Estanco Junqueira Lopes

Doutor Manuel Francisco Pacheco Coelho

Lisboa

Novembro, 2004



ABREVIATURAS

CBO – Carência bioquímica de oxigénio, definido no capítulo 2.3

CH₄ – Metano

CO₂ – Dióxido de carbono

CQO – Carência química de oxigénio, definido no capítulo 2.3

EDP – Electricidade de Portugal, SA

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

IPCC – Intergovernmental Panel for Climate Change

N₂O – Óxido Nitroso

PCI – Poder calorífico inferior

RSU – Resíduos sólidos urbanos

SO₂ – Dióxido de Enxofre

Tg – 10⁶ gramas

UE – União Europeia

Unidades de potência

- W – Watt = Joule/segundo
- kW = 10³ W
- MW = 10⁶ W
- GW = 10⁹ W
- TW = 10¹² W

Unidades de energia

- Wh – Watt-hora = 3 600 Joule
- kWh – 10³ Wh
- MWh – 10⁶ Wh
- GWh – 10⁹ Wh
- TWh – 10¹² Wh



RESUMO

A digestão anaeróbia é um processo que acontece naturalmente e através do qual a matéria orgânica é decomposta num gás, a que se dá o nome de biogás, e num substrato orgânico que pode ser separado numa fracção líquida e numa fracção sólida. Toda esta matéria pode ser aproveitada. O biogás, devido à presença de metano, pode ser utilizado para produção de energia. A matéria orgânica final está estabilizada e é um produto agrícola valioso.

Este método de valorização dos resíduos impede que estes provoquem danos ambientais importantes. Estes benefícios ambientais são externos ao mercado e, por isso, não têm um valor económico. Este facto aliado ao preço elevado da tecnologia torna o investimento num digestor pouco atractivo. O Estado pode corrigir esta falha do mercado e permitir o aproveitamento de todo o potencial nacional. Esse potencial de produção de biogás é calculado para cada uma das fontes de resíduos biodegradáveis.

Neste trabalho são desenvolvidos os parágrafos anteriores e na última parte são enumerados os instrumentos que podem ser adoptados para estimular o desenvolvimento desta tecnologia. Destacam-se as políticas energética, ambiental e agrícola.

Palavras-chave: fontes de energia alternativas, gestão de resíduos, digestão anaeróbica, externalidades, desenvolvimento sustentável.

ABSTRACT

The anaerobic digestion is a process which occurs naturally and through which the organic matter is decomposed into a type of gas, called biogas, and into an organic substratum that can be separated into a liquid fraction and into a solid fraction. All this matter can be used. The biogas, due to the presence of methane, can be used to produce energy. The final organic matter is stabilized and it is a valuable product to use in agriculture.

This method of waste valorisation prevents these from provoking considerable environmental damages. These environmental benefits are external to the market and for that they have no economic value. This fact allied to the high price of technology makes the investment in a digester unattractive. The state can correct this market imperfection and allow the full use of the whole national potential. That biogas production potential is calculated for each one of the biodegradable waste sources.

In this paper the previous paragraphs will be further developed and in the last part are listed the several instruments that can be used to stimulate the development of this technology. The energy, environmental and agricultural policies are enhanced.

Keywords: alternative energy sources, waste disposal and recycling, anaerobic digestion, externalities, sustainable development.

ÍNDICE

ÍNDICE	6
Lista de figuras.....	8
Lista de Quadros.....	8
PREFÁCIO	10
1. INTRODUÇÃO	11
1.1 Organização do documento	11
2. DIGESTÃO ANAERÓBIA	12
2.1 Valorização Energética: o Biogás	12
2.2 Valorização Orgânica	15
2.3 Redução da Poluição	17
2.3.1 Emissões de Gases Poluentes	19
2.4 Tecnologia	22
2.4.1 Estações centralizadas	23
2.5 Obstáculos à Digestão Anaeróbia.....	24
2.6 Alternativas à Digestão Anaeróbia.....	25
2.6.1 Aterros Sanitários	25
2.6.2 Incineração	26
2.6.3 Compostagem.....	27
2.7 Fontes Nacionais de Resíduos Orgânicos	28
2.7.1 Agro-Pecuária	29
2.7.2 Indústria.....	31
2.7.3 Lamas de ETAR's	33
2.7.4 Resíduos Sólidos Urbanos.....	35
3. IMPACTOS ECONÓMICOS	37
3.1 Óptica empresarial	37
3.1.1 O exemplo de uma suinicultura	40
3.2 Óptica Macroeconómica	43
3.3 Externalidades.....	44
4. POLÍTICAS	51
4.1 Contexto Político Actual	51
4.1.1 Política energética	51
4.1.2 Política ambiental.....	54
4.1.3 Política agrícola	56

4.2 Opções para uma Política Nacional.....	57
4.2.1 Electricidade Verde.....	57
4.2.2 Tarifas Verdes.....	58
4.2.3 Sistema de Concursos.....	59
4.2.4 Sistema de Quotas e Certificados Verdes Transaccionáveis.....	59
4.2.5 Convocar as Autoridades Locais.....	60
4.2.6 União à Europa.....	61
4.2.7 Apoio ao Investimento.....	62
4.2.8 Taxas sobre os Gases com Efeito de Estufa.....	63
4.2.9 Aposta no Ensino e Investigação.....	64
4.2.10 A Informação e Demonstração.....	65
4.2.11 Instrumentos Agrícolas.....	66
4.2.12 Imposto sobre os Fertilizantes.....	67
4.2.13 Procura Pública.....	67
4.2.14 Separação dos Resíduos Orgânicos.....	67
I) Despejo no sistema de águas residuais.....	68
II) Recolha selectiva de resíduos.....	68
4.2.15 Taxa do Lixo.....	69
 5. CONCLUSÃO.....	 72
6. BIBLIOGRAFIA.....	74



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Emissões de metano (CH_4) em Portugal em 2001 (<i>IPCC, 2003</i>) [15]	20
Figura 2 – Emissões de óxido nítrico (N_2O) em Portugal em 2001 (<i>IPCC, 2003</i>) [15]	20
Figura 3 – Síntese dos instrumentos apresentados no desenvolvimento da digestão anaeróbia	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Equivalências Energéticas do Biogás, (<i>CCE, 2000</i>) [10]	14
Quadro 2 – Potencial energético expresso em biogás do sector agro-pecuário (<i>INE, 2002</i>) [21] (<i>Fórum Energias Renováveis em Portugal</i>) [20] (<i>CCE, 2000</i>) [10]	30
Quadro 3 – Potencial energético expresso em biogás do sector industrial (<i>Fórum Energias Renováveis em Portugal, 2002</i>) [20]	32
Quadro 4 – Potencial energético expresso em biogás das lamas de ETAR's (<i>INAG, 2002</i>) [23] (<i>CCE, 2000</i>) [24]	34
Quadro 5 – Potencial energético expresso em biogás dos RSU (<i>INE, 2003</i>) [64] (<i>AEA Technology</i>) [30]	36
Quadro 6 – Indicadores financeiros do investimento num digestor anaeróbio, numa suinicultura, considerando a venda da electricidade como a única receita	41
Quadro 7 - Indicadores financeiros do investimento num digestor anaeróbio, numa suinicultura, considerando a venda da electricidade e do composto	42
Quadro 8 – Benefícios ambientais locais criados pela utilização da digestão anaeróbia para tratamento dos resíduos orgânicos.	44
Quadro 9 – Potenciais emissões evitadas pela produção de electricidade a partir do biogás	46
Quadro 10 – Potenciais emissões de CO_2 provocadas pela queima do biogás – potencial de aquecimento global nulo.	47

Quadro 11 – Emissões de metano (CH₄) evitadas com o aproveitamento do biogás **49**

... (texto muito pouco legível devido à baixa qualidade da imagem)

... (texto muito pouco legível devido à baixa qualidade da imagem)

... (texto muito pouco legível devido à baixa qualidade da imagem)

... (texto muito pouco legível devido à baixa qualidade da imagem)

... (texto muito pouco legível devido à baixa qualidade da imagem)

... (texto muito pouco legível devido à baixa qualidade da imagem)

PREFÁCIO

Tornar as opções de desenvolvimento sustentável economicamente atraentes tem sido desde sempre um dos temas que mais me tem atraído. E, se possível, quantificar esses benefícios muitas vezes não reflectidos no mercado.

Escolhi o biogás porque é um dos bons exemplos de sustentabilidade. Para um crescimento a pensar no longo prazo e para atingir um equilíbrio sempre difícil de encontrar, cada vez mais, entre o Homem e o meio que o rodeia.

Ao contrário das outras energias renováveis, que são apenas um passo intermédio até à fusão nuclear (verdadeira revolução energética), a digestão anaeróbia é um processo em que produção de energia não é o produto principal. A principal vantagem é ser um método de valorização de desperdícios não consumidor de recursos energéticos.

Aprendi muito com este trabalho em áreas muito diversificadas. Aprendi sobre a agricultura, nomeadamente sobre boas práticas agrícola. Aumentei os meus conhecimentos na área da energia, tanto as renováveis como as convencionais, sobre as políticas energética, ambiental e agrícola, sobre resíduos, sobre as emissões de gases com efeito de estufa e como são quantificadas, o Protocolo de Quioto as externalidades e, obviamente, sobre o biogás e a digestão anaeróbia.

A última parte do trabalho exigiu um exercício de pesquisa e raciocínio interessante para escolher aqueles que penso serem os instrumentos mais eficazes. Maior parte das medidas escolhidas já se encontram em vigor noutros países, por vezes com algumas, pequenas, diferenças. Tenho a noção que o desenvolvimento de cada um dos instrumentos poderia dar uma tese de mestrado, mas era meu objectivo não me dedicar apenas a um ou dois objectivos mas apresentar os que eu achasse que eram mais importantes e com possibilidade de serem adoptados no nosso país.

Uma última referência para a importância da Internet na minha pesquisa. Esta fonte de informação foi crucial para o desenvolvimento da minha dissertação. Foi de especial importância para recolha de informação internacional. Beneficiei do facto de outros países europeus, dos Estados Unidos da América e das organizações internacionais, caso da FAO, disponibilizarem bastante informação actualizada através deste canal.

1. INTRODUÇÃO

Actualmente o desenvolvimento sustentável é um dos principais objectivos que qualquer país ambiciona alcançar. O objectivo é maximizar o bem-estar não só no curto prazo, mas prolongá-lo para as gerações futuras. Em 2002 o Instituto do Ambiente apresentou a Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável. Apesar do reconhecimento da necessidade de preservar o ambiente, sem por em risco o desenvolvimento económico e a coesão social, faltam instrumentos para o fazer. O objectivo deste documento é mostrar porque é que a digestão anaeróbia pode contribuir para essa estratégia e como incentivar o seu crescimento.

Aprendemos na química que nada se perde tudo se transforma. A matéria orgânica transforma-se rapidamente. No caso dos resíduos por nós gerados cabe-nos decidir como vai ser essa transformação. Podemos deixar que funcione contra nós, com um custo social elevado. Ou podemos decidir-nos pela sua transformação em novos produtos com valor ambiental e económico positivo. À luz do desenvolvimento sustentável a prioridade vai para a prevenção dos resíduos, seguida da reutilização, reciclagem, valorização energética e, por fim, a sua eliminação segura.

A redução dos lixos biodegradáveis é pouco provável, antes pelo contrário. O aumento da população e a melhoria das condições de vida fazem prever um aumento desses resíduos, provenientes das águas residuais, explorações agrícolas, lixos urbanos ou industriais. As opções são a reciclagem, valorização energética e reutilização. A tecnologia anaeróbia suporta esta opção e contribui para o aumento das energias renováveis e da agricultura orgânica. Na dissertação analisaremos como a tecnologia anaeróbia suporta esta opção e ao mesmo tempo é, possivelmente, a energia renovável com maior contribuição para a diminuição das emissões de gases com efeito de estufa e como permite o progresso de uma agricultura orgânica assegurando uma gestão racional e equilibrada do solo. Veremos como os resíduos deixam de ser encarados como matéria com pouco valor ou com valor negativo e passam a ser vistos como nova matéria-prima para a produção de novos produtos.

1.1 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

No próximo capítulo são apresentadas as vantagens da digestão anaeróbia e são calculados os resíduos orgânicos nacionais e o seu potencial energético. No terceiro capítulo são citadas as influências deste processo sobre a economia, incluindo os benefícios ambientais. O último capítulo indica quais os principais meios para incentivar a sua introdução.

2. DIGESTÃO ANAERÓBIA

A digestão anaeróbia é um processo bioquímico natural através do qual certos microorganismos ou bactérias na ausência de oxigénio actuam sobre matéria orgânica. Este processo realiza-se naturalmente por exemplo, nos pântanos, nos sedimentos no fundo dos lagos, nos aterros, nos esgotos e no intestino dos animais. Actualmente utilizam-se equipamentos próprios (digestores) para realizar este processo de forma controlada. Assim procede-se ao tratamento dos resíduos biodegradáveis e à sua consequente valorização energética e orgânica.

2.1 VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA: O BIOGÁS

Da fermentação anaeróbia surge o biogás, que é composto, essencialmente, por metano (CH_4), por isso também conhecido por biometano, e dióxido de carbono (CO_2). Apesar de poderem variar, em média o biogás é composto por (Di Berardino, 1997):

- Entre 55% e 80% de Metano (CH_4);
- Entre 20% e 40% de Dióxido de carbono (CO_2);
- Entre 1% e 3% de Hidrogénio (H_2);
- Entre 0,5% e 2,5% de Azoto (N_2);
- Entre 0,1% e 1% de Oxigénio (O_2);
- Entre 0,1% e 0,5% de Sulfureto de hidrogénio (H_2S).
- Entre 0,1% e 0,5% de Amoníaco (NH_3);
- Menos de 0,1% de Monóxido de Carbono (CO);
- Água variável.

A proporção dos vários gases depende de diversos factores:

- Composição da matéria-prima. As matérias orgânicas são matérias com elevado teor de humidade em que a relação carbono/azoto (C/N) deverá ser entre 15 e 30 (CCE, 2000) [10], porque as bactérias consomem muito mais carbono (fonte de energia) do que azoto (para formar as proteínas). A presença de materiais tóxicos é outro factor a controlar, nomeadamente, níveis excessivos de amoníaco (NH_3), sais e metais pesados. Os pesticidas, detergentes, antibióticos e outros fármacos podem provocar problemas de toxicidade.
- Tipo de digestor e sistema de digestão utilizado (cap. 2.4).
- Temperatura de fermentação. Apesar de poder realizar-se entre os 10°C e 100°C os intervalos mais favoráveis à fermentação anaeróbia são o mesofílico ($30 - 40^\circ\text{C}$) e termofílico ($50 - 60^\circ\text{C}$). No segundo caso o tempo de retenção é menor, há uma maior

Depois de depurado e comprimido o biogás pode ser utilizado em veículos automóveis tal como o gás natural, com menores emissões de fumo, ruído, partículas e óxidos de azoto (NO_x) (Lusk, 1998) [12]. É interessante a transformação de frotas de autocarros de forma a possibilitar a utilização deste combustível.

Actualmente prepara-se a substituição do gás natural nas pilhas de combustível. As pilhas de combustível transformam o combustível em energia sem existir combustão. Apresentam emissões muito baixas, pouco ruído e uma eficiência que pode chegar aos 55%, ou ultrapassar os 80% quando há recuperação de calor (Lusk, 1998) [12].

O destino mais comum e mais simples para aproveitamento do biogás é através da sua queima em motores de combustão interna para produção de electricidade. Segundo o “Guia técnico do biogás” (CCE, 2000) [10] nos motores de pequena potência a eficiência de conversão em energia eléctrica não ultrapassa os 25% mas pode ir até 38% nos motores de maior potência. Para pequenas potências as micro-turbinas permitem rendimentos perto dos 30%. Os rendimentos podem ser bem mais elevados, podendo chegar aos 90% caso haja produção conjunta de electricidade e calor (libertado na combustão do combustível), ou seja, através da cogeração. A cogeração apresenta-se como a forma mais prática e eficiente de utilização do biogás (Di Berardino, 2002) [22]. A energia térmica obtida pode ser utilizada no próprio digestor e no tratamento posterior dos excedentes por forma a facilitar a sua aplicação nos solos.

A substituição de combustíveis fósseis permite evitar o lançamento dos gases emitidos na sua combustão. Cerca de 75% dos gases com efeito de estufa e mais de 90% dos óxidos de azoto (NO_x), do monóxido de carbono (CO) e do dióxido de enxofre emitidos em Portugal provêm do sector energético (IPCC, 2003) [15].

2.2 VALORIZAÇÃO ORGÂNICA

O biogás não é o único produto resultante da digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos. O efluente resultante pode ser aproveitado como fertilizante, condicionador do solo e/ou turfa. Embora não seja obrigatório, o efluente da digestão anaeróbia deve ser alvo de tratamento posterior antes de ser utilizado como composto na agricultura, por forma a proceder à sua estabilização (não apodrece nem liberta odores) e higienização completas, incluindo a eliminação dos organismos patogénicos e das sementes de ervas daninhas. Este tratamento posterior faz-se através da compostagem (cap. 2.6).

A digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos surge como um meio de aumentar o seu valor como fertilizantes. É um produto rico em compostos químicos utilizados como alimento pelas



Quadro 1 – Equivalências Energéticas do Biogás, (CCE, 2000) [10]

1 m ³ de biogás (65% CH ₄)	1 m ³ de biogás (65% CH ₄)
0,65 m ³ de metano	0,65 m ³ de metano
0,62 m ³ de gás natural	0,62 m ³ de gás natural
0,26 m ³ de propano	0,26 m ³ de propano
0,20 m ³ de butano	0,20 m ³ de butano
0,6 l gasolina	0,6 l gasolina
6,5 kWh Electricidade	6,5 kWh Electricidade
1,60 kg carvão de madeira	1,60 kg carvão de madeira

O biogás pode ser utilizado para os mesmos fins de outro gás combustível como o gás da cidade ou o gás natural. Tendo apenas que se fazer alguns ajustamentos aos equipamentos, devido às impurezas (corrosivas) que este apresenta e ao facto de ser um gás leve (mais leve que o ar) com fraca densidade que dificulta a sua utilização e transporte.

Pode ser utilizado por combustão directa para fins domésticos como aquecimento de água, cozinha e aquecimento das instalações. Nas explorações agrícolas pode ser aproveitado para aquecimento de estufas, aquecimento de edifícios dos animais, nomeadamente, para a criação dos animais mais jovens, e secagem de produtos agrícolas. A sua aplicação em lâmpadas a gás também é viável.

Outra hipótese é a substituição de outros carburantes numa série de motores e com bons rendimentos uma vez que o CH₄ tem uma elevada composição em hidrogénio. Alguns exemplos são os motores fixos, as bombas para rega, os motores de ordenha e moinhos. A adaptação de motores de combustíveis convencionais como a gasolina e o fuel para o biogás é relativamente simples, permitindo a utilização de ambos os combustíveis, por vezes simultaneamente.

A utilização em veículos e tractores agrícolas também é outra alternativa, mas exige outros cuidados e investimentos. Exige o investimento em garrafas para armazenamento e em compressores de média ou alta pressão. O investimento não fica completo sem um processo de depuração do biogás, ou seja, a limpeza do biogás. Este processo é de especial importância na eliminação do CO₂, diminuindo assim o volume do biogás e aumentando o seu poder calorífico, e na eliminação do sulfureto de hidrogénio (H₂S) que é corrosivo e que em quantidades na ordem de 1% se torna tóxico e mortal (Saint-Joly, 1988) [6]. Com estes sistemas de purificação do biogás é possível atingir percentagens de metano superiores a 95% (Marchaim, 1992) [2].

destruição de organismos patogénicos, maior produção de biogás (25 a 50% superior), uma redução da quantidade de efluente necessário e a separação do resíduo final entre sólido e líquido torna-se mais fácil. O intervalo mesofílico utiliza tecnologia mais acessível e tem as vantagens de ser menos sensível a variações ambientais, de exigir menor consumo de energia para manter a temperatura, produzir um substrato com mais matéria orgânica e biogás com menor quantidade de vapor de água e CO_2 . Em qualquer uma das gamas o importante é que a temperatura se mantenha estável.

- Acidez do meio é medida pelo valor de pH. O ideal é um pH neutro (de valor 7) ou ligeiramente básico, entre 7 e 8 mas mais uma vez é importante evitar variações.
- O tempo de retenção da matéria (tempo de permanência dos resíduos no digestor). Com o aumento do tempo de retenção diminui a produção de biogás, aumenta a despoluição dos resíduos e aumenta o tamanho do digestor. O aumento da temperatura adoptada ou do teor de água fazem com que o tempo de retenção diminua

É o facto de conter metano (CH_4) que torna o biogás um gás combustível. O CH_4 tem um poder calorífico inferior (PCI, medida do conteúdo energético útil do combustível) de 9,9 kWh/m^3 à temperatura de 0 ° C e 1 atmosfera de pressão (CCE, 2000) [10]. O poder calorífico do biogás depende da quantidade de metano que contém. Apesar do CH_4 produzido pela fermentação anaeróbia ser semelhante ao do gás natural, este é constituído por aproximadamente 80% a 99% por metano e ainda por outros hidrocarbonetos como o etano, butano e o propano que têm um PCI muito superior ao metano.

A produção teórica de metano é de 0,35 $\text{m}^3 \text{CH}_4$ / kg CQO, que é o mesmo que 0,25 kg CH_4 / kg CQO. Na prática, devido a diversos factores, a conversão é menor, sendo de 85 a 95% com resíduos de elevada biodegradabilidade, e não passando os 60% com matéria pouco biodegradável (CCE, 2000) [10]. Nos cálculos efectuados ao longo da dissertação foi considerada uma conversão de 50%, também considerada no *Fórum "Energias Renováveis em Portugal"* (2000) [20].

De acordo com o *Guia Técnico do Biogás* (CCE, 2000) [10] temos na Quadro 1 as equivalências energéticas para 1 $\text{m}^3 \text{CH}_4$ e para o biogás com 65% de CH_4 .

células, ou seja, rico em nutrientes. O fósforo (P), o azoto (N) e o potássio (K) são os nutrientes mais importantes fornecidos por este substrato orgânico, que também melhora a estrutura do solo, aumentando a sua fertilidade, a sua capacidade de retenção da água, contribuindo para a recuperação de solos degradados.

O composto produzido pode ser aplicado no combate à desertificação. Segundo a Quercus cerca de “dois terços do território continental português estão em risco moderado de se transformar numa espécie de deserto” (Gomes, 2003) [57]. Este composto pode ser utilizado como correctivo orgânico com claras vantagens para o solo (MARDP) [42]: facilita a boa circulação da água e do ar, facilita a penetração das raízes, aumenta a capacidade de retenção de água, é uma fonte de nutrientes, protege as plantas ao fixar certos elementos tóxicos e é utilizado como habitat à fauna e microrganismos presentes no solo.

Como parte da matéria orgânica (carbono, hidrogénio e oxigénio) é transformada em biogás e como as perdas de azoto são insignificantes a matéria remanescente apresenta maior proporção de azoto (N) e mantém a proporção de fósforo (P) e potássio (K) (Lusk, 1998) [12]. A fracção de amoníaco (NH_3) aumenta melhorando o potencial do substrato uma vez que esta é a forma mais simples e rápida de absorção de azoto (N) pelas plantas (FAO, 1992), evitando a sua fuga, por exemplo, para cursos de água. A sua utilização provoca um aumento da produtividade agrícola devido “à lenta libertação do azoto (N) e à melhoria da estrutura do solo” (FAO, 1992) [2].

O efluente digerido é também menos viscoso e mais facilmente manejável facilitando a respiração das plantas e penetração no solo (Lusk, 1998) [12]. A produção agrícola aumenta comparando com a utilização de estrume tradicional, que além de ser mais viscoso perde quase todo o azoto (N) através das emissões de amoníaco (NH_3). Por outro lado através da digestão anaeróbia diminuem os odores e os agentes patogénicos nos efluentes (cap. 2.3).

Este substrato rico em nutrientes e com forte potencial fertilizante diminui a necessidade de utilização de fertilizantes inorgânicos. A aplicação destes fertilizantes sintéticos além de diminuir o conteúdo em matéria orgânica e a fertilidade dos solos, são responsáveis por emissão de CO_2 e dióxido de enxofre (SO_2) na sua produção energia intensiva e de óxido nítrico (N_2O) não só na sua produção mas também na sua utilização (cap. 2.3.1). Ao substituir os fertilizantes sintéticos por produtos naturais incentiva-se a prática de uma agricultura mais sustentável.

A opção mais utilizada nas instalações modernas é a separação deste substrato numa parte sólida (fibra) e numa parte líquida. Esta separação facilita e reduz os custos da sua aplicação no solo. A parte sólida é utilizada como adubo e como condicionador de solos, ou

seja, como substituto de turfa para aumentar a qualidade do solo, tanto na agricultura como na horticultura. Esta porção é rica em matéria orgânica mas apresenta poucos nutrientes. Caso o seu destino seja a comercialização deve sofrer um tratamento posterior com objectivo de proceder à sua estabilização.

Após ser removida a matéria sólida, sobra uma parte líquida que contém cerca de dois terços dos nutrientes contidos na matéria original e que é utilizado como fertilizante. De acordo com alguns estudos esta fracção contém entre 70 a 90% dos nutrientes originais. Este fertilizante líquido deve ser espalhado directamente sobre as colheitas junto ao solo de forma a perder o mínimo de nutrientes possíveis. Como tem uma elevada percentagem de água também oferece benefícios para a irrigação das culturas.

Este substrato pode ainda ser reintegrado na ração dos animais e na alimentação piscícola (Polprasert, 1996) [1].

2.3 REDUÇÃO DA POLUIÇÃO

A produção energética e de produtos agrícolas são vantagens da digestão anaeróbia mas estão longe de ser as únicas e as que têm contribuído para o maior desenvolvimento desta técnica. A digestão anaeróbia é um dos métodos mais eficazes e eficientes para o tratamento de resíduos orgânicos o que juntamente com a produção de energia torna esta técnica muito atractiva.

Os lixos orgânicos são responsáveis por elevados custos ambientais: contribuem para a contaminação das águas, tanto superficiais como subterrâneas, poluição do solo e poluição do ar.

A descarga de matéria orgânica em grandes quantidades nos cursos de água provoca graves desequilíbrios biológicos. As bactérias que se alimentam destes resíduos orgânicos vão consumir oxigénio em grande quantidade provocando a sua escassez, impedindo a sobrevivência de outros animais, como por exemplo os peixes. A libertação de fósforo e azoto são os principais causadores de problemas ambientais provocados por estes resíduos, nomeadamente a eutrofização (perturbação do equilíbrio ecológico da água devido ao crescimento exagerado de algas e outras plantas, resultado do aumento de nutrientes, especialmente azoto e fósforo) e acidificação (o azoto pode transformar-se em ácido nítrico, contribuindo por exemplo para a formação das chuvas ácidas). Parte da libertação de azoto é feita através de amoníaco (NH_3), que tem um efeito tóxico nos ecossistemas e contribui para a eutrofização e acidificação dos mesmos. Estima-se que o amoníaco (NH_3) é responsável por 24% das emissões europeias que provocam a acidificação (Wit, Keulen, Meer, Nell, 1998) [11].

Estes resíduos provocam ainda cheiros desagradáveis e a turvação da água, que dificulta a entrada de luz essencial para a produção de oxigénio.

Nos aterros sanitários a degradação dos detritos biodegradáveis, com elevados teores de água, juntamente com ácidos inorgânicos e com as águas pluviais produz líquidos residuais com uma elevada carga poluente, conhecidos por lixiviados ou águas lixiviantes. Estas águas devem ser alvo de um tratamento especial anterior ao seu encaminhamento para rede municipal de águas residuais. Os lixiviados têm uma elevada carga poluente que para além da matéria orgânica, contêm "metais pesados, substâncias tóxicas, microorganismos patogénicos e gases" (Instituto dos Resíduos, 2002) [29].

A matéria orgânica pode ser indirectamente medida por dois parâmetros: a carência química de oxigénio (CQO) e a carência bioquímica de oxigénio (CBO). Estes parâmetros indicam-nos a quantidade de oxigénio necessário para oxidar (decompor) os compostos orgânicos, quer com produtos químicos (CQO) quer por via bioquímica (biodegradabilidade) (CBO) (Di Berardino, Oliveira, Nogueira, Duarte, 2000) [9]. Uma forma mais simples de analisar a matéria orgânica dos resíduos é através dos sólidos voláteis (SV) e dos sólidos suspensos voláteis (SSV) que contêm. Através da digestão anaeróbia é possível remover entre 40 a 90% da matéria orgânica dos resíduos, dependendo do tipo de resíduo a tratar (CCE, 2000) [10].

A poluição do solo acontece quando são depositadas grandes quantidades de efluentes no solo que vão alterar a sua composição química, podendo tornar-se tóxica (Saint-Joly, 1988) [6]. A concentração de fósforo e azoto pode ser superior às quantidades absorvidas pelas culturas e como tal saturar o solo. Segundo a União Europeia os solos europeus, incluindo os portugueses, apresentam níveis excessivos de azoto [56].

A deposição destes detritos não tratados no solo aumenta também nas culturas os níveis de metais pesados prejudiciais para a saúde humana. Os principais problemas acontecem com o cobre (Cu), zinco (Zn) e o cádmio (Cd) que são adicionados às rações dos animais para aumentar a sua produção, mas cerca de 90% são libertados nas fezes (Wit, Keulen, Meer, Nell, 1998) [11].

A poluição no solo tem implicações posteriores quando os elementos poluentes são arrastados pela água das chuvas para os cursos de água.

Por serem matérias putrescíveis libertam odores muito desagradáveis durante a sua decomposição, piorando proporcionalmente com a quantidade. Estes cheiros são o resultado da digestão anaeróbia não controlada. Através da utilização de digestores é possível controlá-los transformando os efluentes em dióxido de carbono, metano e matéria orgânica sem cheiro.

Segundo Lusk (1998) [12] a retenção de matéria orgânica em digestores anaeróbicos reduz os odores em 97% em apenas três dias, enquanto a simples armazenagem aumenta em 77%.

Estes resíduos, principalmente o excreto dos humanos e dos animais, são portadores de organismos patogénicos, ou seja, germes provocadores de doenças. A lista de doenças transmitidas pelas fezes humanas e animais é grande e afecta tanto uns como outros. Da tabela apresentada em Polprasert (1996) [1] podemos referir algumas doenças que podem ser transmitidas por estas matérias: a cólera, febre tifóide, diarreia, infecções respiratórias e gastrointestinais ou hepatite. A digestão anaeróbica surge como um tratamento sanificante permitindo reduzir os organismos patogénicos em 95% com um simples digestor a operar a temperatura mesofílica (entre os 30°C e os 40°C) ou podendo atingir um nível de redução de 99,99% em regime termofílico (entre os 50°C e os 60°C) (Lusk, 1998). Caso seja necessário estão disponíveis métodos adicionais para completar a desinfectação, por exemplo a compostagem. O tratamento destes resíduos diminui também os insectos atraídos pela matéria em decomposição não controlada.

2.3.1 EMISSÕES DE GASES POLUENTES

Se considerarmos uma escala mais global estes resíduos são responsáveis por emissões de gases com efeito de estufa (GEE), ou seja, gases que aumentam a retenção da radiação infravermelha proveniente da Terra provocando fortes alterações climáticas. Os principais são o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e outros compostos halogenados (HFC, PFC e SF_6). Os resíduos orgânicos são responsáveis pela emissão de metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), que têm um potencial de aquecimento global 21 e 310 vezes, respectivamente, superior ao dióxido de carbono (CO_2), considerando um horizonte temporal de 100 anos. O metano contribui com 20 % para o aquecimento global e o óxido nitroso com 6% (Instituto do Ambiente, 2001) [14].

Em Portugal de acordo com o inventário nacional de emissões de poluentes atmosféricos de 2001 divulgado pelo Instituto do Ambiente (IPCC, 2003) [15], podemos ver nas figuras 1 e 2 as principais fontes de CH_4 e óxido nitroso (N_2O), com origem na actividade humana.

Figura 1 – Emissões de metano (CH_4) em Portugal em 2001 (IPCC, 2003) [15]

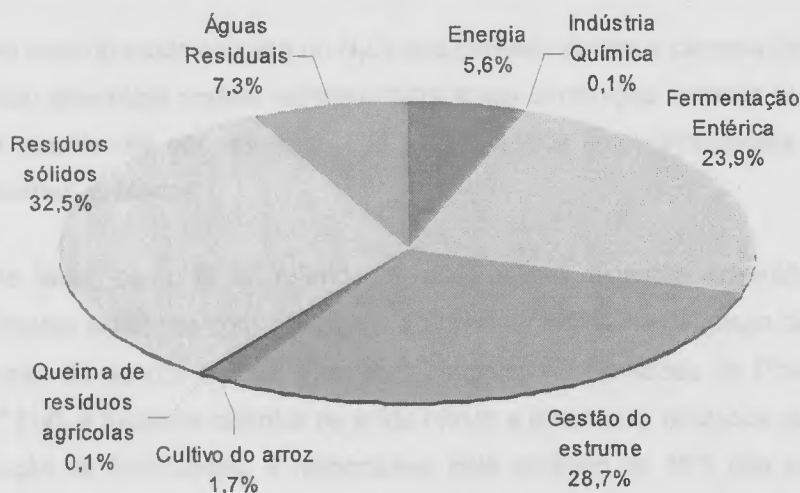
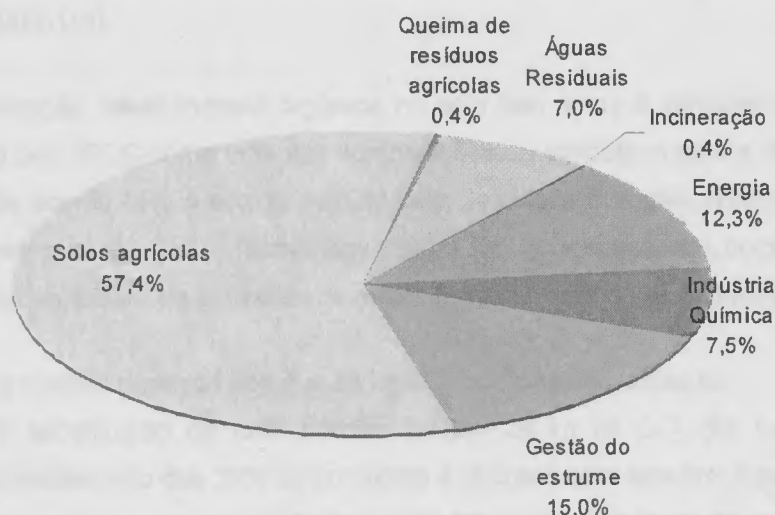


Figura 2 – Emissões de óxido nitroso (N_2O) em Portugal em 2001 (IPCC, 2003) [15]



Os maiores contribuidores para as emissões de CH_4 são a digestão em condições anaeróbias dos resíduos sólidos, do estrume e das águas residuais e a fermentação entérica (fruto do processo digestivo dos ruminantes). A utilização de processos de digestão anaeróbia controlada com aproveitamento do biogás apresentam-se como um tratamento capaz de minorar estas emissões nos três primeiros casos, substituindo-as por emissões de dióxido de carbono. Através da combustão de 16g de CH_4 damos origem a 44g de CO_2 , diminuindo o efeito de estufa. Acresce a este facto que as emissões de CO_2 dos resíduos orgânicos



pertencem ao ciclo normal do carbono, ou seja, com um potencial de aquecimento global igual a zero na contabilização das emissões nacionais (AEA Technology, 2001) [30].

Do mesmo modo no caso do N_2O , que também destrói a camada de ozono, os sistemas de digestão anaeróbia podem contribuir para a sua diminuição. Através do tratamento dos lixos o azoto mantém-se nos efluentes que são utilizados como fertilizantes orgânicos substituindo fertilizantes sintéticos.

De facto, como já foi referido os efluentes da digestão anaeróbia podem substituir os fertilizantes sintéticos com vantagens ao nível de emissões de gases com efeito de estufa. Em Portugal, de acordo com o "Inventário Nacional de Emissões de Poluentes Atmosféricos de 2001" [14], a indústria química de ácido nítrico e amoníaco, utilizados quase exclusivamente na produção de fertilizantes, é responsável pela emissão de 89% das emissões de gases com efeito de estufa de todo o sector químico, isto não contabilizando as emissões energéticas do sector. As emissões energéticas do sector correspondem a 2,3% do total de emissões de gases com efeito de estufa em Portugal. Acrescem a estas emissões as libertadas aquando da sua aplicação nos solos e que segundo o mesmo inventário corresponde a 2 298,2 toneladas de N_2O em 2001. As emissões rondam os 0,018 kg N_2O por kg de fertilizante sintético aplicado (IPCC, 2003) [15].

A aplicação desta matéria orgânica no solo tem ainda a vantagem de fixar CO_2 , sendo apontada pelo IPCC como uma das contribuições da agricultura para a diminuição do efeito de estufa. De acordo com o estudo editado pela Comissão Europeia *Waste management options and climate change* (AEA Technology, 2001) [30] a aplicação do composto tem o seguinte efeito positivo a nível de emissões de gases com potencial de aquecimento global:

- a matéria orgânica absorve 54 kg CO_2 por tonelada utilizada;
- a substituição da turfa permite poupar 29 kg de CO_2 por tonelada de composto, considerando que 20% do composto é utilizado com este fim. A turfa é um material, que encontramos em ecossistemas muito frágeis da Europa do Norte, que contém carbono de restos de plantas da última era glacial, que é libertado quando esta é removida;
- a substituição de fertilizantes sintéticos permite evitar o lançamento de 7,1 kg CO_2 , por tonelada, considerando que 50% do composto é utilizado como fertilizante.

Ao substituir os combustíveis fósseis na produção de electricidade e calor o biogás evita também pesadas emissões. Em 2001, 52,2% da electricidade produzida pela EDP foi de origem térmica, ou seja, utilizando combustíveis fósseis como o gás natural, o carvão e o fuelóleo (EDP, 2002) [43]. A combustão destes combustíveis é responsável por graves danos ao ambiente e saúde pública. Os principais responsáveis por estes danos são o CO_2 , principal

causador do aumento do efeito de estufa e consequente aquecimento global, o SO_2 , que provoca problemas respiratórios e chuvas ácidas, óxidos de azoto (NO_x), que contribuem também para as chuvas ácidas, e ainda partículas que são responsáveis por doenças do foro respiratório. Segundo os dados do IPCC para Portugal em 2001 a produção de electricidade e calor através da queima de combustíveis fósseis foi responsável por 29,5% das emissões totais de CO_2 , 18,6% das emissões de óxidos de azoto (NO_x) e 55% das emissões de SO_2 .

2.4 TECNOLOGIA

A tecnologia utilizada na digestão anaeróbia dos resíduos, tal como em todos os outros campos tecnológicos tem evoluído muito possibilitando uma redução dos custos de investimento, reduzindo os tempos de retenção e aumentando a quantidade de biogás produzido. Existem neste momento diversas opções tecnológicas para a digestão anaeróbia. Seja qual for a opção é importante que o sistema seja o mais simples possível.

Os resíduos podem ser introduzidos e retirados do digestor através de dois sistemas: sistema descontínuo e sistema contínuo. No primeiro caso o substrato é introduzido no digestor onde permanece durante determinado tempo para que se possa ser digerido e extraído o biogás. Depois o resíduo final é trocado por resíduo ainda não tratado e repete-se o processo. Este sistema está a cair rapidamente em desuso.

No sistema contínuo, como o próprio nome indica, a saída e entrada de resíduos é simultânea, não há esvaziamento do digestor. A sua carga permanece constante. Actualmente opta-se, quase exclusivamente, por este tipo de sistema e é sobre ele que tem recaído grande parte da investigação e desenvolvimento em tecnologia de digestão anaeróbia.

Segundo *Guia técnico de Biogás* (CCE, 2000) [10] os modelos mais utilizados são:

- Digestor de mistura completa, bom para resíduos com "elevado teor de sólidos e de material grosseiro", por exemplo para resíduos pecuários e esgotos domésticos.
- Reactor de contacto, muito utilizado em efluentes de matadores.
- Reactor de fluxo-pistão ("Plug-flow"), modelo mais utilizado em Portugal. É o que exige menos conhecimentos técnicos e menores custos de manutenção. Utiliza-se, normalmente, para resíduos semi-sólidos agro-pecuários.
- Leito de lamas anaeróbio de fluxo ascendente, conhecido por reactor UASB ("Upflow Anaerobic Sludge Blanket"), é o reactor mais utilizado na indústria e no tratamento de águas residuais previamente diluídas. Com este digestor é possível tratar elevados caudais de resíduos com tempos de retenção muito curtos (por vezes apenas uma horas) e com elevada eficiência de remoção de matéria orgânica.

- Filtro anaeróbio. Os resíduos líquidos são os ideais para este tipo de reaktor por forma a não entupirem o filtro. Caracteriza-se também por tempos de retenção curtos, por permitir uma elevada concentração de biomassa no interior e por uma elevada eficiência de remoção de matéria orgânica.
- Filtro híbrido anaeróbio, que é uma mistura dos dois anteriores. Este digestor surge como uma evolução do filtro anaeróbio melhorando a sua performance. Continua a permitir uma elevada retenção de biomassa.
- Reactor de leito fluidizado ou expandido. Utiliza resíduos líquidos e funciona com tempos de retenção muito curtos.

As instalações de digestão anaeróbia podem ser de dimensão muito reduzida e quase artesanais como no caso da China e Índia, em que o biogás é utilizado na cozinha e para iluminação. Nestes casos os custos de investimento e de manutenção são pequenos, a tecnologia é fácil de operar e permite o tratamento de pequenas quantidades de resíduos. Estes digestores são indicados, por exemplo, para pequenas explorações pecuárias ou pequenas localidades que se encontram afastadas dos sistemas de recolha de resíduos.

2.4.1 ESTAÇÕES CENTRALIZADAS

Do lado oposto temos autênticas centrais eléctricas com capacidade para aproveitar várias centenas de toneladas de resíduos diariamente. A Dinamarca é o exemplo máximo destas estações centralizadas de tratamento. Apesar do elevado investimento inicial a utilização destes sistemas centralizados apresenta várias vantagens:

- Aproveitamento de economias de escala reduzindo o custo por tonelada tratada/valorizada, possibilitando o investimento em tecnologia mais avançada. Diminui muito os custos de ligação à rede de transporte e distribuição da electricidade produzida.
- Possibilita a co-digestão de resíduos provenientes de diversas origens, com benefícios na produção de biogás, na digestão da matéria e na viabilidade económica do projecto. A produção de grandes quantidades de biogás facilita a sua utilização.
- Torna viável o aproveitamento de resíduos de pequenas explorações agro-pecuárias, agro-industriais, dos lixos orgânicos de pequenas localidades e de efluentes sazonais (por exemplo da indústria vinícola).
- Liberta os produtores de resíduos da responsabilidade da gestão da instalação, bem como do destino dos produtos finais: energia e produtos para o solo.
- Permite a utilização de digestores a funcionar em regime termofílico (55 a 60°C), com maior produção de biogás, maior degradação da matéria e formação de um efluente em muito boas condições higiénicas (Di Berardino, 2000) [28].

- Maior controlo da poluição criada na região e sobre o destino dado a esses resíduos, oferecendo maiores garantias sobre o seu tratamento.
- Maior controlo sobre a distribuição dos fertilizantes produzidos e sobre a sua qualidade, nomeadamente, em termos de odores e organismos patogénicos.

Um problema destas instalações é o transporte dos resíduos até à central. Na Dinamarca utiliza-se o transporte rodoviário que segundo Di Berardino (2000) [28] não é a alternativa ideal para Portugal. Segundo este especialista a melhor alternativa é o transporte por bombagem apesar do elevado investimento inicial. Este método utilizado em Itália apresenta menores custos de manutenção, menores consumos energéticos e maior flexibilidade no volume a transportar.

2.5 OBSTÁCULOS À DIGESTÃO ANAERÓBIA

A implementação da digestão anaeróbia tem tido alguma resistência. As principais barreiras observadas são as seguintes:

- A remuneração da energia eléctrica vendida à rede não reflecte os benefícios ambientais desta fonte energética em relação às fontes convencionais, que têm beneficiado de avultados subsídios. Como actualmente a venda de energia é a principal receita destes projectos, tornam-se projectos pouco aliciantes e com períodos de recuperação muito elevados;
- Inexistência de um mercado para o composto produzido. Não existe sensibilidade para o valor agrícola desse composto e muito menos para o seu valor ambiental em relação aos fertilizantes sintéticos, que são mais fáceis de aplicar e de adquirir;
- Desvalorização do saldo energético da digestão anaeróbia no tratamento dos resíduos, o que faz que este processo seja preterido para outros com menor investimento inicial;
- Fraca fiscalização e monitorização dos objectivos estabelecidos relativamente aos resíduos produzidos, ao seu tratamento e destino;
- Falta de capacidade dos agentes para o elevado investimento inicial e falta de financiamento para fazer face a esse esforço financeiro;
- É uma tecnologia pouco difundida em Portugal e por isso pouco divulgada. Os técnicos especializados são muito poucos o que faz com que alguns dos digestores instalados apresentem falhas de concepção e construção, o que não beneficia a evolução do sector;
- Falta de informação dos próprios destinatários da tecnologia, sobre, por exemplo, as suas vantagens ambientais e económicas, sobre casos de sucesso, não só em Portugal mas no resto do mundo, sobre fornecedores de tecnologia. Há também um desconhecimento por parte da opinião pública dos problemas causados pelos resíduos

orgânicos e, por isso, da necessidade de proceder ao seu tratamento. Desconhecimento que é maior em relação ao biogás e às suas vantagens, nomeadamente ambientais;

- Falta de vontade política. Os poderes públicos têm grande peso na decisão da tecnologia a adoptar no tratamento dos resíduos sólidos urbanos e nas estações de tratamento das águas residuais, pelo que podem optar pela digestão anaeróbia, o que não têm acontecido;
- Inexistência de limites às emissões de gases com efeito de estufa, especialmente, as emissões de CH_4 .

2.6 ALTERNATIVAS À DIGESTÃO ANAERÓBIA

A digestão anaeróbia não é a única opção para tratamento dos resíduos orgânicos. Entre vários outros métodos que existem surgem como os mais utilizados e disponíveis a deposição em aterros sanitários, a incineração e a compostagem.

2.6.1 ATERROS SANITÁRIOS

Os aterros sanitários são "instalações de eliminação utilizada para a deposição controlada de resíduos acima ou abaixo da superfície natural" (Dec.-Lei 239/97). No final da sua exploração o aterro é selado e coberto com solo arável e o espaço é transformado numa área verde. Os aterros têm substituído, nos últimos anos, as lixeiras como destino final dos resíduos sólidos urbanos recolhidos indiferenciadamente. Actualmente segundo o Instituto dos Resíduos (2002) [29], todos as lixeiras se encontram desactivadas.

Idealmente estas instalações deveriam ser utilizadas apenas para lixo que não pudessem ser reutilizados ou reciclados. Na prática tal não acontece porque as estações de tratamento alternativas são escassas e a recolha selectiva mostra pouca adesão. Actualmente os aterros sanitários recolhem todo o tipo de resíduos, inclusive orgânicos, e são responsáveis por impactos ambientais importantes:

- Emissões de CH_4 que resultam dos resíduos biodegradáveis e que ao seu elevado poder como gás de efeito de estufa acrescem os riscos de incêndio e de explosão;
- Produção de lixiviados, com perigo de contaminação das águas subterrâneas;
- Emissão de odores e organismos patogénicos;
- Contaminação dos solos circundantes;
- Realização de ruídos ligados às operações de transporte e compactação dos detritos;
- Impossibilita a reutilização e reciclagem de resíduos que poderiam ser aproveitados;
- Ocupação de terra.

Devido a estes impactos, um aterro deve possuir uma camada impermeabilizante, um sistema de drenagem de águas lixiviantes e um sistema de drenagem e extracção contínua do biogás, possibilitando a sua valorização energética.

Apesar de todos estes impactos os aterros têm um papel muito importante na política de resíduos nacional, possibilitando a transição entre as lixeiras e sistemas mais sustentáveis de tratamento dos resíduos.

2.6.2 INCINERAÇÃO

A incineração é outro processo utilizado no tratamento de resíduos. Apesar de ser recomendado para lixos que não possam ser reciclados e reutilizados, tal como acontece com os aterros grande parte dos resíduos eliminados por este processo não obedecem a esse critério. Na incineração os resíduos são queimados a elevadas temperaturas (entre os 850 e os 1 100 °C) o que permite a produção de energia térmica e eléctrica, a destruição de microrganismos patogénicos e a redução do seu volume para 10% em forma de escórias (resultado directo da queima) e cinzas volantes (resultado do sistema de tratamento de gases). Os resíduos orgânicos têm pouco potencial para ser tratado por este processo fruto do seu baixo poder calorífico devido ao elevado teor em água que possuem.

Uma central de incineração é muito contestada pelas populações e pelos ambientalistas que sublinham os inconvenientes deste processo:

- Criação de gases muito poluentes que incluem óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de azoto (NO_x), ácidos clorídrico (HCl), partículas, metais pesados e dioxinas (Eunomia Research & Consulting, 2002). Substâncias que põem em risco a saúde pública e que obrigam a um tratamento dos gases prévio ao seu lançamento na atmosfera. De qualquer forma a limpeza nunca é total e são emitidos vestígios das matérias referidas (Instituto dos Resíduos, 2002) [29];
- Emissões de CO₂ que resultam da queima de lixo de origem fóssil, como por exemplo os plásticos;
- Produção de resíduos perigosos, principalmente os da lavagem dos gases. Estes resíduos também devem ser tratados antes de depositados nos aterros. Por exemplo, no caso da central da LIPOR, na região metropolitana do Porto, estas cinzas são simplesmente ensacadas e transportadas para o aterro, não se procedendo à sua inertização (Instituto dos Resíduos, 2002) [29]. Com a incineração 3% dos resíduos biodegradáveis são transformados em resíduos perigosos;
- As centrais de incineração exigem um enorme esforço de investimentos, devido às elevadas exigências tecnológicas das preocupações ecológicas que têm que gerir. Uma

das conclusões do Resolução de Ministros nº 97/98 é a inviabilidade económica das incineradoras, optando pela “co-incineração em unidades cimenteiras nacionais, como forma preferencial de tratamento dos resíduos industriais perigosos incineráveis”.

2.6.3 COMPOSTAGEM

A compostagem é um processo com uma filosofia diferente dos processos anteriores. É um processo utilizado exclusivamente para os resíduos orgânicos, que tem como objectivo a sua valorização orgânica, ou seja, a sua reutilização para fins agrícolas. O composto final é um produto estável, rico em nutrientes e higienizado que é aplicado no solo como fertilizante orgânico, substituindo os sintéticos, e como correctivo de solos pobres em matéria orgânica. A compostagem é uma técnica em que se dá a decomposição biológica dos resíduos através da acção de microorganismos num ambiente quente, húmido e arejado. É um processo semelhante à digestão anaeróbia (por vezes chamada compostagem anaeróbia) mas que é feito em condições aeróbias (em presença de oxigénio), ou seja, libertando CO_2 e vapor de água (H_2O) e quase sem produção de CH_4 e o consequente aproveitamento energético. Pelo contrário, a compostagem envolve dispêndio de energia pois a matéria em decomposição têm de ser removida e arejada. É um processo que consome entre 50 e 75 kWh por tonelada de resíduos (CCE, 2000) [10]. A principal desvantagem da compostagem em relação à digestão anaeróbia é o facto de ser um método consumidor de energia.

A compostagem pode realizar-se em sistemas abertos ou em sistemas fechados. Os primeiros exigem técnicas menos complexas e menores custos de investimento e exploração, mas são mais sensíveis às variações climáticas (Instituto dos Resíduos, 2002) [29]. Ambos os processos são responsáveis pela formação de odores, bioaerossóis, águas lixiviantes e gases como o CO_2 , e amoníaco (NH_3). Mas estas emissões são controladas nos modernos centros de compostagem fechados equipados com sistemas de captação e de tratamento de ar e sistemas de drenagem dos efluentes líquidos. O problema surge nas instalações abertas e mais antigas onde não existe esse controle.

O tratamento dos resíduos orgânicos através dos dois primeiros métodos, deposição em aterros sanitários e incineração, apresentam-se como pouco sustentáveis e aparecem em último lugar na hierarquia de gestão de resíduos: redução, reutilização, reciclagem e destruição. Estes métodos não permitem a valorização orgânica dos resíduos o que os põem em desvantagem em relação aos métodos que o permitem, nomeadamente no que diz respeito às emissões de gases com efeito de estufa (AEA Technology, 2001) [30]. No que diz respeito ao aproveitamento energético vários autores destacam o superior desempenho da digestão anaeróbia em relação à incineração. Por exemplo, no relatório *Valorização Energética de Lamas de ETARs Municipais: Digestão Anaeróbia e Cogeração com Biogás*, do CCE, destaca-

se “a digestão anaeróbia como a tecnologia mais eficaz e facilmente aplicável para fazer uso do potencial energético contido nas lamas de ETARs”. Também a Quercus num artigo de Outubro de 2002 (Carteiro, Berkemeier, 2002) [31], escreve que a digestão anaeróbia de farinhas de BSE “é a solução energeticamente mais eficiente, produzindo 5 unidades de energia por cada unidade consumida (rendimento de 500%), enquanto a incineração gasta 3 unidades de energia para produzir 2 (rendimento de 66%)”.

No confronto com a compostagem, de facto, a principal vantagem da digestão anaeróbia é a produção de biogás e o seu aproveitamento energético. O fluxo de gases com efeito de estufa é bem menor, porque há uma substituição de combustíveis convencionais na produção energética (AEA Technology, 2001) [30]. Actualmente a compostagem, apesar de menores benefícios ambientais, tem menores custos de investimento tornando-se, por vezes mais atractiva. Um estudo económico realizado para a Comissão Europeia sobre opções de gestão dos resíduos sólidos urbanos biodegradáveis (Eunomia Research & Consulting, 2002) [32] chegou exactamente a essa conclusão: os benefícios ambientais da digestão anaeróbia são superiores mas os custos operacionais, incluindo os de investimento, são menores para a compostagem, tornando esta opção a melhor escolha. No entanto o mesmo estudo realça que com a evolução da tecnologia os custos tendem a descer.

Mas Existem instituições que não corroboram esta conclusão. De acordo com o documento *Biogas & More!*, do departamento de bioenergia da Agência Internacional de Energia [40], os sistemas de compostagem mais complexos com sistemas de protecção ambiental, exigem um investimento semelhante aos da digestão anaeróbia. Segundo o instituto suíço de bioenergia a compostagem fechada tem custos de investimento mais elevados que a digestão anaeróbia. Ainda segundo o programa norte-americano de incentivo à instalação da digestão anaeróbia para tratamento dos resíduos agro pecuários, o AgSTAR, considera este processo competitivo em relação a outros processos utilizados (EPA, 2002) [70].

2.7 FONTES NACIONAIS DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

Os resíduos ricos em matéria orgânica são susceptíveis de ser tratados de forma a possibilitar o aproveitamento da energia que contêm. No caso dos resíduos apresentarem um elevado teor de água esse aproveitamento deve ser feito através de processos biológicos (digestão anaeróbia).

Os resíduos orgânicos utilizados para a produção do biogás provêm de diversas fontes:

- Efluentes da agro-pecuária, caso dos excrementos animais (suinicultura, avicultura e vacarias) e resíduos da produção de frutos e legumes;

- Efluentes industriais, essencialmente indústria agro-alimentar;
- Efluentes de estações de tratamento de águas residuais domésticas e industriais,
- Resíduos sólidos urbanos (RSU).

De seguida são calculados os resíduos que podem ser tratados por digestão anaeróbia e o seu potencial para produção de biogás. Os dados são do ano 2001.

2.7.1 AGRO-PECUÁRIA

Os efluentes da criação animal são o principal alvo da digestão anaeróbia neste sector. São resíduos ricos em matéria orgânica e de elevada biodegradabilidade por via anaeróbia (CCE, 2000) [10]. O potencial destas matérias na produção de biogás está directamente relacionado com a alimentação, limpeza dos estábulos e distribuição dos animais. Por exemplo, os resíduos de suínos e galináceos são mais facilmente digeridos anaerobicamente que o estrume bovino (CCE, 2000) [10].

Este processo é uma boa solução para o tratamento destes resíduos removendo entre 40 a 80 % (CCE, 2000) [10] da matéria orgânica para além de proceder à sua desodorização e higienização.

Outra possibilidade oferecida pelo sector e ainda não explorada é a criação de culturas energéticas para a produção de biogás, como algas, eufórbia e jacintos de água, que depois são alimentadas com o fertilizante líquido que resulta da sua digestão anaeróbia (CCE, 2000) [10].

Segundo os resultados apresentados no FORUM "Energias Renováveis em Portugal" [20] as espécies animais que apresentam maior potencial a nível nacional para aproveitamento dos excrementos são os "bovinos leiteiros, galinhas poedeiras e de multiplicação e suiniculturas de ciclo fechado e recria". O quadro 2 resume o potencial de produção de biogás deste sector de acordo com a mesma fonte, considerando 70% de CH₄.

Quadro 2 – Potencial energético expresso em biogás do sector agro-pecuário (INE, 2002) [21] (Fórum Energias Renováveis em Portugal) [20] (CCE, 2000) [10]

	Efectivos 2001 a)	Efectivo considerado 1999 b)	SV por efectivo c)	SV anual	Quantidade máxima de metano (CH ₄) d)	
	1000 cabeças		kg / animal / dia	kg / ano	m ³ CH ₄ / kg SV	m ³ CH ₄
Bovinos Leiteiros	356	241	3,500	307 877 500	0,280	86 205 700
Galinhas	11 517	3 800	0,022	30 514 000	0,615	18 766 110
Porcas reprodutoras	314	181	1,925	127 175 125	0,450	57 228 806
Outros porcos	1 992	1 365	1,776	884 847 600	0,450	398 181 420
Outros bovinos	1 059	-	-	-	-	-
Frangos de carne	25 185	1 900	0,010	6 713 080	0,195	1 309 051
Ovinos	3 449	-	-	-	-	-
Caprinos	544	-	-	-	-	-
Quantidade teórica de metano (CH ₄) produzida					561 691 087	
Quantidade prática de metano (CH ₄) produzida					280 845 543 m ³ /ano	50% do valor teórico e)
Biogás, 70% de metano (CH ₄)					401 207 919 m ³ /ano	
Equivalência energética teórica					2 780 371 MWh/ano	1 m ³ CH ₄ equivale a 9,9 kWh
Energia eléctrica produzida					834 111 MWh/ano	Eficiência de 30%
Energia térmica (cogeração)					1 251 167 MWh/ano	Eficiência de 45%
Utilizada no digestor					834 111 MWh/ano	30 % da energia total (CCE, 2000) [10]

a) Agricultura Portuguesa – Principais Indicadores 2001, INE (2002) [21]

b) De acordo com o levantamento feito pelo INE em 1999 em relação às explorações pecuárias. Para as galinhas os dados são do Fórum Energias Renováveis [20]

Considerando uma dimensão mínima necessária, Fórum Energias Renováveis [20]:

- 20 vacas leiteiras;
- 20 000 galinhas;
- 100 porcas reprodutoras
- 1 000 outros porcos

c) Sólidos Voláteis por efectivo por dia, dados do Guia Técnico do Biogás, CCE (2000) [10]

d) Produção específica de biogás (m³/kg SV), Guia Técnico do Biogás, CCE (2000) [10]

e) Cerca de 50% do valor teórico considerando que:

- uma percentagem da matéria orgânica não é biodegradável;
- uma pequena fracção é utilizada para o crescimento das bactérias;
- o próprio reactor não permite a utilização de toda a matéria orgânica por parte dos microorganismos

Os resíduos considerados para a produção de biogás são inferiores a 1/3 dos resíduos totais produzidos no sector. Por exemplo, algumas explorações de bovinos para engorda ou explorações de equídeos poderiam também ser aproveitadas. O potencial de produção energética poderia ser maior se fossem utilizados digestores de menor dimensão e para menores volumes de carga, ou se fossem instalados sistemas municipais centralizados, o que permitiria tratar uma quantidade muito superior de matéria.

2.7.2 INDÚSTRIA

Na indústria o tratamento de resíduos orgânicos através da digestão anaeróbia surge como uma opção muito atraente que permite a redução de custos com as lamas biológicas e a produção de energia. A redução de matéria orgânica é na ordem dos 75 a 90%.

Não são só as indústrias agro-alimentares que utilizam este processo, há indústrias não alimentares que também produzem resíduos passíveis de serem tratados pela digestão anaeróbia, nomeadamente, as indústrias papeleiras, química, farmacêutica e de aglomerados de madeira (CCE, 2000) [10].

O efluente da digestão anaeróbia dos resíduos industriais é muitas vezes alvo de um tratamento suplementar através, por exemplo, de processos aeróbios. O objectivo neste caso não é tanto a sua aplicação na agricultura mas fazer o melhor tratamento possível (INETI, 2000) [19].

O quadro 3 apresenta o potencial nacional apresentado no FORUM “Energias Renováveis em Portugal” [20] para o sector industrial, considerando apenas o grupo agro-alimentar, que é o que têm maior expressão em Portugal.



Quadro 3 – Potencial energético expresso em biogás do sector industrial (Fórum Energias Renováveis em Portugal, 2002) [20]

Actividades	CQO anual a)		
	kg / ano		
Matadouros	22 691 531		
Conservas de peixe e preparados de carne	5 376 915		
Concentrados de tomate	5 167 840		
Produção e refinação de azeite e outras gorduras	18 706 675		
Conservação de frutas e produtos hortícolas	376 191		
Fabricação de sumos, doces, compotas e refinação de açúcar	5 732 613		
Lacticínios	9 536 029		
Margarinas e afins	533 393		
Fermentos e leveduras	49 071 960		
Destilarias	506 879		
Fabrico de malte e cerveja	4 213 829		
Refrigerantes	3 331 862		
	125 245 717		
Quantidade teórica de metano (CH ₄) produzida	43 836 001	m ³ /ano	0,35 m ³ CH ₄ /kg CQO
Quantidade prática de metano (CH ₄) produzida	21 918 000	m ³ /ano	50% do valor teórico b)
Biogás, 70% de metano (CH ₄)	31 311 429	m ³ /ano	
Equivalência energética teórica	216 988	MWh/ano	1 m ³ CH ₄ equivale a 9,9 kWh
Energia eléctrica produzida	65 096	MWh/ano	Eficiência de 30%
Energia térmica (cogeração)	97 645	MWh/ano	Eficiência de 45%
Utilizada no digestor	65 096	MWh/ano	30 % da energia total (CCE, 2000) [10]

a) Resíduos Industriais (INETI, 2000) [19]

b) Cerca de 50% do valor teórico considerando que:

- uma percentagem da matéria orgânica não é biodegradável;
- uma pequena fracção é utilizada para o crescimento das bactérias;
- o próprio reator não permite a utilização de toda a matéria orgânica por parte dos microrganismos

Este potencial é capaz de estar subavaliado, porque, por exemplo, o inventário nacional de emissões (IPCC, 2003) [15] atribui aos resíduos industriais emissões de 115,95 toneladas de metano (CH₄).

Algumas das indústrias apresentadas produzem resíduos orgânicos suficientes para a instalação de um digestor anaeróbio nas instalações com a vantagem de as tornar independentes em termos energéticos.

O valor calculado pode ser acrescido se for considerado as muitas toneladas de fruta que são destruídas quando existe excesso de produção. Na campanha 1997/1998 foram destruídas 17 278 toneladas de fruta, ou seja, foi feita a sua descarga em lixeiras, aterros sem controlo ou aterros sanitários (Berkemeier, Carteiro, Coelho, 1999) [51].

2.7.3 LAMAS DE ETAR's

A construção de estações de tratamento de águas residuais têm sido uma aposta nos últimos anos no nosso país e vai continuar a ser nos próximos, nomeadamente por imposição europeia. O que significa que existirá um controlo muito grande sobre o destino das águas residuais, e poucas escaparão aos sistemas colectores e às estações de tratamento. O tratamento das águas residuais produz uma grande quantidade de lamas que podem ser tratadas através da tecnologia de digestão anaeróbia, reduzindo o seu volume, a sua matéria orgânica (entre 60 e 80%, segundo o Guia Técnico de Biogás”), os organismos patogénicos e odores, permitindo cobrir as necessidades energéticas da estação e exportar o excedente para a rede.

Assim, o potencial das ETAR's é grande e está em crescimento. Por outro lado há algumas ETAR's que já utilizam a digestão anaeróbia para tratamento das lamas, mas poucas fazem o seu aproveitamento energético.

Apesar de a utilização desta tecnologia ser considerada rentável apenas a partir de estações que tratem efluentes superiores a um equivalente de população (medida da carga orgânica produzida por uma população, o equivalente de população é superior à população da aglomeração) de 10 000, com a construção de ETAR's que reúnam efluentes de várias pequenas localidades também estes podem ser somados ao potencial nacional.

No quadro 4 está quantificado o potencial de produção de biogás destes resíduos.

Quadro 4 – Potencial energético expresso em biogás das lamas de ETAR's (INAG, 2002) [23] (CCE, 2000) [24]

	Continente	Madeira	Açores	Total anual a)
	EP (Equivalentes de População)			
2 000 a 10 000 EP	1 215 200	76 400	74 000	1 365 600
10 000 a 15 000 EP	509 500	0	0	509 500
15 000 a 15 000 EP	4 690 800	163 600	53 300	4 907 700
Maior que 150 000 EP	4 691 400	0	0	4 691 400
	11 106 900	240 000	127 300	11 474 200

Quantidade prática de metano (CH₄) produzida 54 570 059 m³/ano

Biogás, 60% de metano (CH₄) 90 950 098 m³/ano

Equivalência energética teórica 540 244 MWh/ano 1 m³ CH₄ equivale a 9,9 kWh

Energia eléctrica produzida 162 073 MWh/ano 14 125 kWh / 1 000 Habitante-equivalente ano, 30% eficiência b)

Energia térmica (cogeração) 243 110 MWh/ano Eficiência de 45%

Utilizada no digestor 162 073 MWh/ano 30 % da energia total (CCE, 2000) [10]

a) Dados fornecidos pelo INAG (2002) [23]

b) CCE (2000) [24]

2.7.4 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Uma parte dos resíduos sólidos urbanos é rica em matéria orgânica e por isso susceptível de ser tratada pela digestão anaeróbia. Os principais produtores destes resíduos são, os restaurantes, hotéis, cantinas, mercados, resíduos verdes de parque e jardins, e não param de aumentar. Estes incluem também os lixos domésticos. A fracção orgânica dos RSU é responsável pelos maus cheiros, propagação de doenças, insectos e ratos nos aterros. O afluente para a digestão anaeróbia pode conter também 40% de papel caso seja necessário (AEA Technology, 2001) [30].

A digestão anaeróbia ainda está a dar os primeiros passos como forma de tratamento dos RSU em Portugal, apesar de a compostagem ser uma prática com alguns anos.

Com o encerramento e selagem das lixeiras os aterros sanitários passaram a ser o principal destino destes resíduos o que não impede as emissões de metano para a atmosfera. Neste caso é possível instalar um sistema de drenagem, captação e extracção do biogás aproveitando-o para fins energéticos.

O ideal será a recolha selectiva da matéria orgânica dos RSU através da separação na origem, disponibilizando matéria-prima em excelentes condições para ser utilizada em digestores anaeróbios e com posterior aproveitamento do composto, permitindo, por outro lado, retirar toneladas de resíduos aos aterros aumentando o seu tempo de vida.

Os resíduos que são recolhidos de forma indiferenciada deverão passar por um processo de crivagem e de triagem manual de forma a fazer a separação da fracção orgânica e possibilitar o seu aproveitamento. Mas nestes casos é impossível separar pequenas partículas de vidros, pedras, plásticos e metais, e é também impossível evitar a contaminação por metais pesados existentes em pilhas, plásticos e metais.

No quadro 5 está reflectida uma situação em que todos os resíduos orgânicos produzidos serão aproveitados excepto os que já são tratados através da compostagem. Para que seja possível aproveitar estes resíduos para a produção de biogás é importante a instalação de mais sistemas como o da Valorsul instalado recentemente na Amadora, que trata os lixos biodegradáveis da região de Lisboa, e de mais sistemas de aproveitamento do biogás gerado nos aterros sanitários. Também é importante a diminuição dos resíduos enviados para a incineração apostando-se na recolha selectiva ou na triagem, caso a primeira não seja possível.

Quadro 5 – Potencial energético expresso em biogás dos RSU (INE, 2003) [64] (AEA Technology) [30]

	Resíduos		
Resíduos Sólidos Urbanos Totais a)	4 683 148	Ton/ano	
Matéria orgânica b)	1 770 230	Ton/ano	
Compostagem a)	549 692		
Disponível	1 220 538		
Quantidade prática de metano (CH ₄) produzida	73 232 277	m ³ /ano	
Biogás, 60% de metano (CH ₄)	122 053 794	m ³ /ano	100 m ³ de biogás/ Ton c)
Equivalência energética teórica	725 000	MWh/ano	1 m ³ CH ₄ equivale a 9,9 kWh
Energia eléctrica produzida	217 500	MWh/ano	Eficiência de 30%
Energia térmica (cogeração)	326 250	MWh/ano	Eficiência de 45%
Utilizada no digestor	217 500	MWh/ano	30 % da energia total (CCE, 2000) [10]

a) Dados relativos a 2001 divulgados pelo INE, 2003

b) 37,8% dos RSU (INE, 1995)

c) AEA Technology, 2001 [30]

O potencial poderá ser maior se existir uma reconversão dos sistemas de compostagem em digestão anaeróbia, que no fundo é um sistema de tratamento mais sustentável devido à sua independência energética e que tem apresentado nos últimos anos uma tendência decrescente dos custos de investimento (cap. 2.6).

Não obstante todo este potencial, segundo informações da DGE, em 2002 a potência instalada era de 1 408 kVA e produziram-se 3 GWh de energia. Em 2004 este valor será certamente superior com o início do funcionamento da estação de tratamento e valorização orgânica da Valorsul onde vão ser instalados dois motores de cogeração de 816kW (Instituto dos Resíduos, 2002) [29].

3. IMPACTOS ECONÓMICOS

O investimento é um dos principais factores determinantes do crescimento económico. O investimento na digestão anaeróbia é um factor que contribui para um desenvolvimento económico sustentável, ou seja, contribui para o desenvolvimento actual não sacrificando o das gerações futuras.

Vivemos numa sociedade capitalista e materialista onde o factor económico é o que tem maior peso nas decisões tomadas. Por isso em todos os investimentos é crucial a análise dos seus efeitos económicos. Essa análise pode ser feita numa óptica empresarial ou numa óptica local ou mesmo nacional.

3.1 ÓPTICA EMPRESARIAL

Na análise económica do projecto são vários os custos e proveitos a considerar. Do lado dos custos temos os custos de capital, essencialmente capital fixo:

- O digestor anaeróbio, com o respectivo sistema de depuração do biogás e sistema de controlo e monitorização;
- O gasómetro, que é o sistema de armazenamento do biogás que pode ser de baixa, média ou alta pressão, e pode estar ou não inserido no próprio digestor;
- O sistema gerador de energia, de preferência um sistema de cogeração pois tem uma maior eficiência;
- Equipamento de compostagem para a estabilização final dos resíduos e um sistema de separação do resíduo final entre fracção líquida e sólida;
- Quando o calor gerado é aproveitado em instalações agro-pecuárias, em casas ou estufas é necessário proceder a alterações no sistema de aquecimento;
- Despesas de projecção, construção e instalação;
- Formação do pessoal.

As despesas de investimento dependem principalmente do tipo de tecnologia utilizada, do tamanho do digestor e do facto dos equipamentos de produção eléctrica serem ou não instalados na central (Poulsen, 2003) [68]. Quanto maior o reactor e mais complexa a tecnologia maiores os custos de capital. Se a conversão do biogás em electricidade for feita nas mesmas instalações onde está o digestor os custos são menores, porque permite aproveitar o calor produzido para a digestão e evita custos de construção e instalação de sistemas de transporte do metano.

Do lado dos custos operacionais temos:

- Reparações e manutenção dos aparelhos;
- Transporte dos resíduos até ao digestor e transporte da matéria final;
- Despesas com pessoal e outras despesas diversas no caso de um sistema centralizado.

No que diz respeito aos proveitos podemos dividi-los em dois grupos: os custos poupados e as receitas geradas. A utilização da digestão anaeróbia e o consequente aproveitamento do biogás e do resíduo final permite poupar nos seguintes custos:

- Energia dispendida para aquecimento de instalações e de água, seja fuel, gás ou electricidade específica;
- Electricidade consumida;
- Outros processos de tratamento dos resíduos;
- Fertilizantes, turfa e condicionadores do solo;
- A aplicação na terra dos resíduos não tratados envolve maior consumo de recursos e de tempo. Estes resíduos têm mais volume e são mais viscosos. Os custos são menores quando se faz a separação entre o fertilizante líquido e as fibras;
- Alimentação de animais, caso o resíduo final seja utilizado com esse fim;
- Taxas pagas às autoridades municipais para tratamento dos resíduos.

As receitas provêm:

- Da venda da electricidade à rede. Receita essa que é superior se a electricidade for vendida apenas em hora de ponta, ou seja, durante o dia (dec-lei nº 168/99);
- Da venda dos produtos da valorização orgânica dos resíduos;
- Da cobrança pelo tratamento dos resíduos de outros agentes, por exemplo a Valorsul cobra uma tarifa para exploração do sistema de tratamento de resíduos sólidos urbanos (Valorsul, 2003) [41], garantindo assim a sua rentabilidade;
- Apoios das entidades governativas centrais ou locais.

Parte dos tópicos referidos muitas vezes não são tidos em conta, especialmente no que diz respeito aos custos evitados, o que torna o projecto menos atractivo.

A escolha do digestor e da unidade de cogeração são pontos essenciais na decisão de investimento, mas os principais factores que determinam a viabilidade do investimento estão no lado da receita, casos da tarifa da electricidade, da existência de um mercado para a matéria orgânica ou da tarifa municipal.

De seguida são apresentadas as principais conclusões de alguns estudos que avaliaram a rentabilidade de vários projectos de digestão anaeróbia na Europa e nos Estados Unidos da América.

Um estudo realizado em 1998 na Europa fez a análise económica de cerca de 20 centrais de digestão anaeróbia, inclusive 10 sistemas centralizados na Dinamarca (Higham, 1998) [69]. São consideradas tarifas de venda da electricidade de 0,06 Euro/kWh. O autor faz primeiro uma avaliação considerando a média de todas as instalações observadas. Neste caso dificilmente a digestão anaeróbia é atractiva para os investidores. Calcularam-se taxas internas de rentabilidade (TIR) perto do zero e períodos de retorno simples de 15 e 20 anos, para sistemas centralizados (1MW) e de pequena dimensão (25kW), respectivamente. Depois fez uma nova avaliação considerando as melhores opções disponíveis. Neste caso as TIR's subiram para 14 e 31% e os períodos de recuperação para 7 e 4 anos. O estudo conclui que a digestão anaeróbia para se tornar rentável teria que reflectir parte dos benefícios ambientais a ela associados, por exemplo pelo pagamento de uma tarifa pela recolha e tratamento dos resíduos. Se o estudo fosse realizado actualmente a conclusão poderia ser diferente devido à descida acentuada dos custos de investimento (Haas, 2001) [50].

No relatório para a União Europeia "Economic Analysis of Options for Managing Biodegradable Municipal Waste" (Eunomia Research & Consulting, 2002) [32] os resultados da avaliação do tratamento da fracção orgânica dos RSU não são muito animadores. Os cálculos assumem que a electricidade é vendida a 0,075 €/kWh e que o composto e parte do calor também são comercializados. Para um período de 10 anos o relatório calcula um custo líquido (depois de receitas) de 108,8 € por tonelada para um sistema centralizado (15 000 toneladas de lixo por ano) e de 79,5 € por tonelada para uma central de pequena dimensão (2 500 toneladas ano), com uma fase de compostagem final incluída.

Uma hipótese para garantir o equilíbrio financeiro da central é a cobrança de tarifas anuais aos municípios que serve. Vai ser esta a opção da estação de tratamento e valorização orgânica da Valorsul na Amadora, que estará concluída no primeiro semestre de 2004, e que já conta com um financiamento através de fundos comunitários de 50% dos quase 20 milhões de euros de investimento inicial (Valorsul, 2003) [41].

Dos Estados Unidos chegam-nos alguns exemplos, principalmente de explorações agro-pecuárias. Os Estados Unidos eram em 2000 os maiores produtores de biogás da OCDE, segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2002) [71]. A sua produção de energia eléctrica a partir desta fonte cresceu mais de 50% entre 1995 e 2000. Este facto revela um interesse crescente nesta tecnologia incentivado por programas como o AgSTAR (cap. 2.6).

Em 1998 Lusk [12] faz a avaliação do investimento em digestores anaeróbios em algumas instalações agro-pecuárias espalhadas pelos Estados Unidos. Os seus cálculos variam de acordo com as regiões onde estão instaladas as explorações. As tarifas de compra de electricidade variam entre os \$0,113/kWh e os \$0,05/kWh e as de venda à rede entre \$0,05/kWh e os \$0,04/kWh. O autor conclui que maior parte dos projectos só são rentáveis se forem consideradas outras receitas para além da substituição da electricidade. Ou seja, todos os subprodutos do processo, a energia eléctrica, o calor e o substrato orgânico, são importantes para assegurar a sua viabilidade económica, pelo menos enquanto os benefícios ambientais não forem valorizados monetariamente.

O programa AgSTAR afirma, mais recentemente, que estes projectos apresentam períodos de recuperação de 3 a 7 anos (EPA, 2002) [70]. Por exemplo, para o projecto Haubenschild (Nelson, Lamb, 2002) [72], que consistiu na instalação de um digestor e gerador numa quinta com 750 vacas leiteiras, foram calculados períodos de recuperação simples do investimento entre 5 e 7 anos. Com a tarifa de compra e venda de electricidade ao mesmo preço de \$0,073/kWh o projecto consegue um período de 5 anos, caso o valor da venda à rede seja inferior (\$0,035/kWh) o período aumenta para 7 anos.

Em suma, os diversos relatórios referidos são unânimes ao afirmarem que a digestão anaeróbia só tem a ganhar com a internalização dos seus efeitos ambientais. Só valorizando esses benefícios é que podemos considerar o biogás um recurso rentável, talvez por reconhecerem este facto é que os países da União Europeia aumentaram a produção de electricidade a partir deste recurso em 360% entre 1995 e 2000 (IEA, 2002) [71].

Nos últimos anos temos assistido à descida do preço desta tecnologia, bem como à diminuição da sua complexidade operacional, factores que a tornam mais atractiva. Na Holanda, onde o biogás está largamente implementado (283 GWh em 2000 (IEA, 2002) [71]), a política para as energias renováveis considera que a digestão anaeróbia é uma tecnologia rentável e que por isso não necessita de uma tarifa verde para venda da electricidade à rede, beneficiando apenas da isenção do imposto ecológico (Sambeek, Thuijl, 2003) [63].

3.1.1 O EXEMPLO DE UMA SUINICULTURA

No capítulo 2.7 vimos que os resíduos de suiniculturas correspondem a mais de 50% do potencial nacional de produção de biogás. Segundo Recenseamento Geral da Agricultura de 1999, existiam em Portugal 1 386 421 suínos distribuídos por 477 explorações com mais de 1000 efectivos, o que corresponde a uma média de quase 3 000 cabeças por exploração.

Uma exploração com 2 000 suínos produz 866 MWh por ano. Tal corresponde a uma potência instalada de 124 kWe. Considerando um investimento inicial de 5 000 €/kW, despesas de operação e manutenção de 6% do investimento inicial (Noord, Beurskens, Vries, 2004) [73] e uma tarifa de venda da electricidade à rede de 61,984 €/MWh (Biogas Barometer, Agosto 2004). Considero ainda que 30% da electricidade produzida é utilizada no sistema (AEA Technology, 2001) [30], ou seja, que são vendidos 606 MWh por ano. Considerei uma taxa de desconto de 7% (utilizada actualmente em algumas multinacionais) e um período de 10 anos.

Quadro 6 – Indicadores financeiros do investimento num digestor anaeróbio, numa suinicultura, considerando a venda da electricidade como única receita

Tarifas (€/MWh)	PT	VLA=0	A
	61,984	84,123	145,000
VLA (1 000 €) a)	-94,23	0,00	350,17
TIR b)	3,6%	7,0%	18,1%
PR c)	13	10	6

- a) Valor Líquido Actual, a um prazo de 10 anos
- b) Taxa Interna de Recuperação, a um prazo de 10 anos
- c) Período de Recuperação

Conclui-se que a tarifa nacional não é atractiva ao investimento (quadro 6). Neste caso a tarifa mínima (VLA=0) exigida seria de 84,123 €/MWh. No quadro vemos também os resultados caso fosse aplicada a tarifa austríaca (uma das maiores da União Europeia).

Do tratamento dos efluentes, além da energia, resulta também o composto que tem valor de mercado. 40% do efluente é transformado em composto. Se considerarmos que o composto é vendido a um preço de 25 €/ton (preço praticado pela LIPOR), os resultados melhoram, mas a tarifa nacional ainda é insuficiente. A tarifa que tornava nulo o VLA é de 62,729 €/MWh (quadro 7).

Quadro 7 - Indicadores financeiros do investimento num digestor anaeróbio, numa suinicultura, considerando a venda da electricidade e do composto

Tarifas (€/MWh)	PT	VLA=0	A
	61,984	62,729	145,000
VLA (1 000 €) a)	-3,17	0,00	350,17
TIR b)	6,9%	7,0%	18,1%
PR c)	11	10	6

a) Valor Líquido Actual, a um prazo de 10 anos

b) Taxa Interna de Recuperação, a um prazo de 10 anos

c) Período de Recuperação

Neste pequeno exemplo faltou contabilizar a energia substituída na instalação, tanto energia eléctrica como calor, o que jogava a favor da realização do investimento.

3.2 ÓPTICA MACROECONÓMICA

Os benefícios são mais perceptíveis se considerarmos uma visão mais abrangente da economia. A introdução e adopção da digestão anaeróbia a uma escala nacional como destino preferencial dos resíduos orgânicos vêm criar todo um novo sector com impacto positivo nas economias regionais e na economia nacional, contribuindo para um crescimento económico sustentável. As principais contribuições são as seguintes:

- Aumento do emprego. A criação de postos de emprego é uma realidade. A European Biomass Association (AEBIOM) estima que se o potencial de biomassa na União Europeia for totalmente aproveitado serão criados 1 milhão de novos postos de trabalho até 2010 (COM (97) 599) [44]. Parte dos postos criados são postos especializados com elevados conhecimentos técnicos.
- Dinamização empresarial devido à criação de empresas de manutenção, instalação, planeamento, fornecimento e investigação.
- Dinamização do mercado de fertilizantes com o aumento da oferta de produtos orgânicos livres de químicos. Esta oferta estimula o desenvolvimento da agricultura biológica.
- Diminuição das assimetrias regionais. Este aumento de investimento e criação de postos de trabalho é feito por todo o país, transformando-se num factor dinamizador das regiões rurais, contribuindo para o aumento da mão-de-obra qualificada, aumento do rendimento *per capita* e aumento do consumo.
- Diminuição da dependência externa. Portugal importa cerca de 85% da energia que consome. A utilização dos recursos endógenos como o biogás, permite substituir os combustíveis convencionais, como o carvão, fuelóleo e gás natural, recursos 100% importados. Em 2002 o país teve um saldo importador de energia de 2,3% do PIB. Por outro lado, a valorização orgânica destes resíduos permite substituir fertilizantes sintéticos e turfa, que têm um saldo importador na balança comercial (FAO, 2001) [50].
- Aumento das exportações. Com o desenvolvimento de uma nova indústria criam-se competências e desenvolvem-se tecnologias que podem mais tarde ser exportadas, nomeadamente, para os países de língua oficial portuguesa com os quais Portugal tem maior ligação.

A avaliação dos projectos na óptica empresarial raramente tem em conta interesses de ordem social, regional, ambiental ou competitividade nacional. Cabe ao Estado analisar estes projectos com uma visão mais abrangente e decidir se mesmo projectos sem a viabilidade assegurada são ou não bons projectos para o país. Caso assim seja o Estado deve garantir os apoios necessários à implementação do projecto.

3.3 EXTERNALIDADES

Como já referimos anteriormente parte dos benefícios proporcionados pela digestão anaeróbia não são remunerados, ou seja, são benefícios que não têm mercado e para os quais não há um preço definido e que por isso são muitas vezes ignorados. Esses benefícios são conhecidos por externalidades, neste caso positivas.

As principais externalidades associadas a esta tecnologia resultam do seu potencial para eliminar externalidades negativas criadas pelo despejo não controlado dos resíduos orgânicos, pela produção de energia com combustíveis fósseis e pela utilização de fertilizantes sintéticos. Apesar de serem difíceis de quantificar não existem muitas dúvidas destes efeitos negativos na actividade económica.

Os principais impactos ambientais à escala local e regional estão resumidos no quadro 8. Eles devem-se, principalmente, ao facto de se evitarem os prejuízos ambientais provocados pelos lixos biodegradáveis.

Quadro 8 – Benefícios ambientais locais criados pela utilização da digestão anaeróbia para tratamento dos resíduos orgânicos.

Benefícios criados	Custos evitados
Diminuição da poluição dos cursos de água	Prejuízos à prática balnear, desportiva e ao turismo
	Danos causados à pesca e caça
	Gastos suplementares no sistema de tratamento de água
	Custos adicionais às empresas que utilizam a água na sua actividade
	Prejuízos causados à navegação com o aumento de lamas
	Danos à agricultura e à pecuária
	Desvalorização imobiliária dos terrenos circundantes
Diminuição da poluição das águas subterrâneas	Gastos suplementares no sistema de tratamento de água
	Danos à agricultura e à pecuária
Eliminação de organismos patogénicos	Danos à saúde pública
	Desvalorização imobiliária dos terrenos circundantes
Eliminação de odores	Prejuízos ao turismo
	Desvalorização imobiliária dos terrenos circundantes
Diminuição de poluentes atmosféricos responsáveis pela acidificação do ecossistema	Danos à agricultura e à pecuária
	Danos à saúde pública
Fertilizante e correctivo do solo	Avanço da desertificação
	Danos causados pela aplicação de fertilizantes sintéticos

Se considerarmos uma escala mais alargada o destaque vai para o efeito que esta tecnologia tem na emissão de gases com efeito de estufa. Como já vimos no capítulo 2.3.1, o processo da digestão anaeróbia permite a diminuição das emissões de gases com efeitos de estufa através de três efeitos diferentes:

- Substituição de energia produzida por combustíveis fósseis muito mais poluentes;
- Queima do metano (CH_4) libertado pelos resíduos orgânicos;
- Aplicação do efluente final com fins agrícolas substituindo produtos inorgânicos, que estão associados a elevadas emissões de gases tanto na sua produção como na sua aplicação.

Actualmente a quantificação em termos económicos destes benefícios ambientais é feita através de estudos com esse objectivo, ou através de simulações de mercados para esse bens. A inexistência de direitos de propriedade bem definidos e, naturalmente, de um mercado para a transacção desses direitos torna impossível a existência de consenso em relação ao seu valor. Em 1997, em Quioto, estabeleceu-se um protocolo internacional que inclui metas e prazos relativos à redução e limitação das emissões futuras de gases responsáveis pelo efeito de estufa, tendo como base o ano de 1990. O Protocolo entra em vigor quando 55 países, que representem pelo menos 55% das emissões, o rectificarem. A União Europeia tem de reduzir as suas emissões anuais em 8% até 2008-2012 face a 1990. A União Europeia optou por assumir o cumprimento das metas estabelecidas conjuntamente com objectivo de não comprometer a sua competitividade

A Portugal foi atribuída a possibilidade de aumentar as suas emissões em 27%, valor esse que em 2000 era já 28% [14]. Mas caso ultrapasse o objectivo definido Portugal terá que responder pelo incumprimento da redução de 8%, o que resulta em pesadas multas para o país. Para atenuar essas multas o protocolo permite o Comércio de Emissões, podendo as diversas entidades emissoras comprar ou vender licenças de emissão. Apesar de estar num estado muito embrionário, estão criadas as bases que permitirão, através do mercado, atribuir um valor às emissões de gases com efeito de estufa.

Com a criação de um mercado parte dos efeitos ambientais da digestão anaeróbia são internalizados. Segundo o Decreto-Lei n.º 168/99, decreto que define a remuneração da electricidade produzida a partir de fontes renováveis pelos produtores independentes, o valor unitário de referência para as emissões de carbono evitadas pela central renovável em 72,82 euros /t CO_2 .

Respeitando o potencial nacional definido no capítulo 2.7 podemos calcular as emissões evitadas pela substituição dos combustíveis convencionais pelo biogás. No quadro 9 é determinado esse valor considerando apenas a substituição de energia eléctrica. Com base no Relatório de Ambiente de 2001 da EDP [43] calcula-se para Portugal em 2001 um montante unitário de emissões na produção de electricidade de 446 g CO_2/kWh . Caso considerássemos que o combustível substituído seria o carvão utilizado na Central Termoeléctrica de Sines esse valor subiria para 912 g/kWh.

Quadro 9 – Potenciais emissões evitadas pela produção de electricidade a partir do biogás

	Potencial energético MWh / ano	Potencial energético Líquido d) MWh / ano	Emissões evitadas			
			912 g CO ₂ /kWh a)	72,82 Euro/ton CO ₂ c)	446 g CO ₂ /kWh b)	72,82 Euro/ton CO ₂ c)
			ton CO ₂ /ano	1 000 Eur	ton CO ₂ /ano	1 000 Eur
Agro-pecuária	834 111	583 878	532 497	38 776	260 410	18 963
Agro-industrial	65 096	45 568	41 558	3 026	20 323	1 480
ETARs	162 073	113 451	103 467	7 534	50 599	3 685
RSU	217 500	152 250	138 852	10 111	67 903	4 945
TOTAL	1 278 781	895 146	816 374	59 448	399 235	29 072

a) Central Termoelétrica de Sines a carvão, EDP (2002) [43]

b) Intensidade nacional em 2001, EDP (2002) [43]

c) Valor unitário de referência para as emissões de dióxido de carbono evitadas pela central renovável, Decreto-Lei n.º 168/99, de 18 de Maio

d) Apenas 70% fica disponível para utilização, 30% da electricidade é utilizada na central, AEA Technology (2001) [30]

Logicamente, o valor calculado considerando a substituição de carvão é mais do dobro do valor calculado com a intensidade carbónica média da electricidade nacional. Estes benefícios ambientais são menores se empregarmos, por exemplo, o preço médio do mercado de emissões da BP em 2001, que foi de cerca de \$39,63 por tonelada de CO₂ (BP, 2002) [53]. Se considerássemos o fuelóleo consumido na Central Termoeléctrica de Setúbal evitávamos a emissão de 746 g CO₂ / kWh, de acordo com dados do relatório do ambiente de 2001 da EDP (EDP, 2002) [43]. Nessa central o consumo de combustível é de 0,24 toneladas de fuelóleo por MWh. O aproveitamento do biogás nacional permite poupar 306 mil toneladas de fuelóleo, a 153,9 € por tonelada importada em 2002 (DGE, 2003) [62], o que corresponde a mais de 47 milhões de euros.

Na queima do biogás para produção energética também é emitido CO₂ que poderia anular o efeito das emissões evitadas na produção de electricidade como se vê no quadro 10. Mas para efeitos de contabilização das emissões de gases com efeito de estufa estas emissões são consideradas de ciclo curto, ou seja, são parte normal do ciclo do carbono e, por isso, com potencial de aquecimento global nulo.

Quadro 10 – Potenciais emissões de CO₂ provocadas pela queima do biogás – potencial de aquecimento global nulo.

	Metano (CH ₄)		Dióxido de Carbono CO ₂
	m3	kg a)	ton b)
Agro-pecuária	280 845 543	200 604	551 661
Agro-industrial	21 918 000	15 656	43 053
ETARs	54 570 059	38 979	107 191
RSU	73 232 277	52 309	143 849
TOTAL	430 565 879	307 547	845 754

a) CH₄ (PTN) 1 mol = 16g = 0,0224 m³
b) Através da combustão 16g CH₄ => 44g CO₂

O aproveitamento do biogás destes detritos impede a emissão de CH₄ que é libertado pela sua decomposição. Como podemos ver no quadro 11 esse CH₄ evitado é, naturalmente, inferior ao produzido em condições anaeróbias controladas. O tratamento dos resíduos do sector da agro-pecuária, principalmente os dejectos dos suínos, é os que têm maior impacto nas emissões de gases com efeito de estufa. Pelo que devem ser olhados com especial interesse pelas autoridades.

Quadro 11 – Emissões de metano (CH₄) evitadas com o aproveitamento do biogás

	Efectivo Considerado 1000 cabeças	Metano (CH ₄)		Óxido nitroso (N ₂ O)		Total	
		Factores de emissão a) kg CH ₄ /cabeça/ano	Emissões ton CH ₄ / ano	Factores de emissão a) kg N ₂ O/cabeça/ano	Emissões ton N ₂ O / ano	ton CO ₂ eq. b)	72,82 Euro/ton CO ₂ e) 1 000 Eur
Bovinos Leiteiros	241	25,73	6 201	1,057	255	209 206	15 234
Galinhas	5 700	0,05	285	0,020	112	40 558	2 953
Suínos	1 546	54,53	84 303	0,055	86	1 796 922	130 852
Agro pecuária			90 789		452	2 046 686	149 040

	EP 2001	Factores de emissão a)		Metano (CH ₄)		Total	
		kg BOD / 1 000 E.P. / ano	ton BOD	Factores de emissão a)	Emissões	ton CO ₂ eq. b)	72,82 Euro/ton CO ₂ e) 1 000 Eur
				kg CH ₄ / kg BOD	ton CH ₄		
Águas Residuais Urbanas	11 474 200	20 440	234 533	0,128	29 999	629 987	45 876

	EP 2001	Óxido nitroso (N ₂ O)		Total	
		Factores de emissão a) kg N ₂ O / EP / ano	Emissões ton N ₂ O / ano	ton CO ₂ eq. b)	72,82 Euro/ton CO ₂ e) 1 000 Eur
Águas Residuais Urbanas	11 474 200	0,11222	1 288	399 182	29 068

	CQO anual	Metano (CH ₄)		Total	
					72,82 Euro/ton CO ₂ e)
	kg / ano	m ³ CH ₄ / ano	ton CH ₄ / ano	ton CO ₂ eq. b)	1 000 Eur
Agro Indústria	125 245 717	21 918 000	15 656	328 770	23 941

	Resíduos 2001 ton / ano	Metano (CH ₄)		Dióxido de Carbono (CO ₂)		Total	
		Factores de emissão a) d ton CH ₄ / ton COD	Emissões ton CH ₄	Factores de emissão g) kg CO ₂ / Ton	Emissões ton CO ₂ /ano	ton CO ₂ eq. b)	72,82 €/ton CO ₂ e) 1 000 Eur
RSU orgânicos	1 770 230						
Aterros	818 149	0,006343333	5 190			108 986	8 590
Compostagem	549 692			22,3	12 258	12 258	966
Incineração f)	402 389					0	0
			5 190		12 258	121 244	8 829

a) IPCC (1996) [53] e IPCC (2003) [15]

b) Segundo o IPCC o Potencial de Aquecimento Global do CH₄ é 21 vezes superior ao do CO₂ e o do N₂O é 310 vezes superior, Instituto do Ambiente (2002) [14]

c) Considerando 50 % das emissões do Inventário Nacional de Emissões de Poluentes Atmosféricos de 2001 das Águas Residuais Domésticas e Comerciais, realizado pelo IPCC (2003) [15]

d) Carbono Orgânico Degradável = 18,81% da matéria orgânica total dos RSU, Inventário IPCC (2003) [15]

e) Valor unitário de referência para as emissões de dióxido de carbono evitadas pela central renovável, Decreto-Lei n.º 168/99, de 18 de Maio

f) Considerando que os resíduos incinerados têm a mesma composição que os RSU totais, ou seja, 37,8%, segundo o INE

g) Segundo o Guia Técnico do Biogás [10], a compostagem consome entre 50 e 75 kWh por tonelada de resíduos. Na análise foi considerado um consumo de 50 kWh / ton e 446 g CO₂ / kWh

f) Devido à falta de dados foram consideradas emissões no valor de 50% das emissões máximas produzidas, ou seja, as mesmas emissões calculadas para estimar o potencial de biogás na Tabela 2.

De acordo com a obra “Waste Management Options and Climate Change” (EEA Technology, 2001) [30] a aplicação agrícola da matéria orgânica que resulta do tratamento dos resíduos permite evitar o lançamento de 7,1 kg de CO₂ equivalente por tonelada de composto (considerando que são produzidos 0,4 toneladas de composto por tonelada de resíduos) pela substituição de fertilizantes químicos, assumindo que 50% do composto é utilizado na agricultura.

Uma vez que os benefícios ambientais desta tecnologia são elevados deveriam ser reflectidos nos resultados do investimento de forma a torná-los mais atractivos. Em Portugal o principal instrumento para o conseguir são as tarifas verdes, ou seja, tarifas especiais de venda de electricidade pelos produtores independentes.

Infelizmente este tarifário não internaliza totalmente esses benefícios. O Fórum Energias Renováveis em Portugal [20] calcula uma remuneração da electricidade produzida através do biogás cerca de 5 vezes superior à actual, que ronda os 0,06 €/kWh. Nesse exercício limitam-se a internalizar na fórmula de cálculo os custos ambientais das emissões de metano evitadas (cap. 4.1.1). O valor calculado poderia ser maior se fossem ainda consideradas as emissões evitadas pela substituição dos fertilizantes sintéticos.

Segundo a DGE [36] o investimento directo em meios de produção para o biogás é de 1,75 milhões de euros por MW. Com base nas estimativas de MWh já apresentadas e considerando 7 000 horas de funcionamento para a tecnologia de digestão anaeróbia (Fórum Energias Renováveis, 2002) [20] calcula-se um potencial de 183 MW de potência instalada para o país. Se considerarmos os custos de 1,75 milhões de euros por MW, estaríamos a falar de um esforço financeiro de cerca de 320 milhões de euros. Este valor é equivalente aos custos ambientais evitados pela queima do metano e pela substituição de energia produzida com combustíveis de origem fóssil. Essas emissões evitadas, de acordo com os cálculos apresentados anteriormente, podem alcançar 4,3 Tg de CO₂ eq., o que equivale a 315 milhões de euros (a 72,82 Euro / ton CO₂) ou cerca de 170 milhões de USD (a \$39,63 por tonelada de CO₂), valor semelhante em euros. O que significa que se o Estado investisse metade dos 320 milhões de euros conseguiria um retorno do investimento imediato. Se contabilizarmos todas as vantagens associadas a este processo percebermos que esse retorno é bem superior.

4. POLÍTICAS

Para alcançar determinados resultados desejáveis os poderes públicos têm que escolher de entre os instrumentos e medidas possíveis, aqueles que mais se ajustam às suas finalidades e objectivos. A digestão anaeróbia pode ser encarada como uma medida com resultados positivos numa série de políticas, nomeadamente na política ambiental, na política energética, na política agrícola e na política económica. A sua implementação exige a coordenação entre todas elas. Na política ambiental contribui claramente para a redução de gases com efeito de estufa e para o tratamento sustentável dos resíduos biodegradáveis. Por ser um recurso energético renovável e endógeno é importante para os objectivos da política energética. Na política agrícola é vista como um destino a dar aos resíduos agrícolas e como uma fonte de fertilizantes orgânicos, contribuindo para a sustentabilidade da agricultura. Outras áreas abrangidas pela implementação da digestão anaeróbia são o emprego, a ciência e tecnologia (I&D), as obras públicas e o desenvolvimento regional e local.

Sejam quais forem as medidas adoptadas um factor essencial para o seu êxito é a "capacidade de *enforcement*" por parte das autoridades (Santos, Antunes, 1999) [33]. Sem essa capacidade de fazer cumprir o estabelecido, principalmente a legislação, qualquer política se torna inconsequente. Para que tal não aconteça o mesmo autor refere que é importante assegurar "actividades de fiscalização e monitorização", "a regulamentação das leis a nível superior", ou seja, partir do geral para o particular, "desenvolver e aplicar esquemas de penalidades", informar a população, com especial enfoque nos principais visados, e a integração das diversas políticas pelos vários sectores eliminando objectivos contraditórios.

4.1 CONTEXTO POLÍTICO ACTUAL

Nesta secção são apresentados, de forma sucinta, alguns dos instrumentos actualmente disponíveis e que podem ser aproveitados pelos produtores nacionais para investirem na digestão anaeróbia. Se olharmos para a realidade nacional, apenas 1 480 kVA de potência instalada em 2001, concluímos que nenhum dos mecanismos apresentados constitui um forte incentivo ao mercado e que são necessárias novas medidas para dar um empurrão a esta tecnologia.

4.1.1 POLÍTICA ENERGÉTICA

A política energética apresentada no Programa do Governo tem três preocupações essenciais: garantir a segurança do aprovisionamento, promover o desenvolvimento sustentável e incentivar a competitividade nacional. As energias renováveis, as únicas energias endógenas nacionais, têm um papel importante nesta estratégia.

No âmbito da Directiva da União Europeia referente à produção de electricidade a partir de fontes de energia renováveis (Directiva nº 2001/77/CE), Portugal assumiu o compromisso de produzir 39% da electricidade consumida em 2010 a partir destas fontes. Nos dados apresentados na directiva, referentes a 1997, esse valor era já de 38,5%, 90% garantido pelas grandes hídricas. Mas com a procura de energia eléctrica a crescer 5% ao ano só com o contributo de outras renováveis será possível atingir esse compromisso. Em 2001 as renováveis contribuíram apenas com 35% da electricidade produzida no país.

O “Programa E4 – Eficiência Energética e Energias Endógenas”, aprovado em Setembro de 2001, surge como a resposta a esse objectivo e às exigências do Protocolo de Quioto (cap. 3.3). O Programa estabelece uma meta mais ambiciosa de 50% de electricidade renovável em 2010, juntamente com o aumento da eficiência energética no lado da procura (no lado do consumidor) com o objectivo de reduzir a intensidade energética do PIB (energia consumida por unidade do Produto Interno Bruto), contribuindo para o aumento a competitividade da economia e para a sua modernização. As medidas apresentadas para generalizar, facilitar, promover e apoiar a utilização de energias renováveis têm um carácter muito geral e tardam em apresentar resultados. Infelizmente o documento dá um incentivo claro à incineração prevendo a sua duplicação até 2010. Este incentivo vai no sentido contrário a uma política de valorização e reciclagem de resíduos.

A política energética actual é uma política de continuidade com objectivos comuns à política do executivo anterior e que defende um esforço acentuado na continuidade do E4. Mantém-se a aposta nas renováveis para a redução da dependência externa, diversificação do abastecimento, fomento do desenvolvimento sustentável e protecção do ambiente, nomeadamente no âmbito do Protocolo de Quioto.

A Resolução do Conselho de Ministros nº 63/2003, que aprova a política energética para o país quantifica as metas para a potência instalada de energias renováveis para 2010. Aponta para o biogás uma potência instalada de 50 MW em 2010, um valor que fica aquém do potencial nacional de 183 MW, calculado anteriormente (cap. 3.3) e da meta de 133 MW indicada no Fórum Energias Renováveis em Portugal [20].

Neste documento destacam-se como medidas de apoio directo ao biogás o “IVA a 12% para equipamentos destinados ao aproveitamento de energias endógenas”, a “introdução de certificados verdes” e os investimentos para facilitar o acesso à rede da produção descentralizada.

Mas a medida predominante em Portugal no incentivo às energias renováveis é tarifa verde. No Decreto-Lei n.º 168/99, de 18 de Maio, o governo aprova uma alteração do tarifário aplicado à venda de electricidade produzida a partir de fontes renováveis, com o objectivo de

internalizar os seus benefícios ambientais. Na fórmula entra um factor que representa as emissões de dióxido de carbono (CO_2) evitadas pela central renovável. Esse parâmetro é fixo e toma o valor de 370 g/kWh. No caso de uma central a biogás esse valor não reflecte com rigor as emissões de gases com efeito de estufa evitadas, uma vez que a principal contribuição do biogás é a queima do metano (CH_4), que tem um potencial de aquecimento 21 vezes superior ao dióxido de carbono (CO_2). Segundo o *Fórum Energias Renováveis em Portugal* (2002) [20] esse efeito é de cerca de 3 905 g CO_2 /kWh, que teria de ser somado ao valor anterior. Considerando este efeito o valor da tarifa seria 5 vezes superior ao actual. Na prática esse efeito não será tão grande, porque as emissões de metano (CH_4) são menores, quando estes resíduos não se encontram em condições anaeróbias controladas. De qualquer modo se o objectivo da tarifa é internalizar os benefícios ambientais das fontes renováveis de energia eléctrica, no caso do biogás esse factor deveria ser superior.

O MAPE – Medida de Apoio ao Aproveitamento do Potencial Energético e Racionalização de Consumos [37] é um instrumento económico em sintonia com o E4 que foi criado pelo Plano de Ordenamento da Economia em 2001. Os objectivos do MAPE são o desenvolvimento das energias renováveis para a produção de energia térmica e eléctrica, a utilização racional da energia e incentivo ao gás natural. O apoio abrange centrais a biogás que vendam a sua produção à rede pública e que proporcionem um período de retorno de investimento simples menor que 20 anos. O incentivo pode ir até um total de 40% do investimento não reembolsável. No âmbito do incentivo a projectos de utilização racional de energia destaca-se o apoio a sistemas de co-geração, “incluindo pequenos sistemas até 150 kVA alimentados a biogás”.

A política energética europeia partilha os mesmos pilares da política nacional. De acordo com a directiva, já referida, o objectivo da União Europeia é aumentar a produção energética a partir de fontes renováveis para 12% em 2010 e aumentar para 22,1% a electricidade produzida pelas mesmas fontes. Para cumprir esses objectivos apresentou o programa “Energia Inteligente – Europa” para os anos 2003 a 2006, à semelhança do que fez para o período de 1998 a 2002 com o programa “Energia”. Este novo programa atribui um orçamento de 86 milhões de euros ao ALTENER para apoio às energias renováveis. No âmbito desta política a partir de 2004 vai surgir uma nova campanha de apoio às energias renováveis idêntica à “Campaign for Take-Off”. A “Campaign for Take-Off”, que agora termina, tinha como objectivo principal aumentar a introdução de energias renováveis, entre elas propunha-se instalar 1 000 MW de biogás.

4.1.2 POLÍTICA AMBIENTAL

A digestão anaeróbia surge na política ambiental como uma solução para a redução das emissões de gases poluentes e como tratamento de resíduos.

A Lei de Bases do Ambiente (Lei 11/87, de 7 de Abril) é clara em relação à necessidade do tratamento dos resíduos...

- "A promoção de acções de investigação quanto aos factores naturais e ao estudo do impacto das acções humanas sobre o ambiente, visando impedir no futuro ou minimizar e corrigir no presente as disfunções existentes"
- "O desenvolvimento e aplicação das técnicas de prevenção e combate à poluição hídrica, de origem industrial, agrícola e doméstica"
- "As fábricas e estabelecimentos que evacuem águas degradadas directamente para o sistema de esgotos são obrigados a assegurar a sua depuração"
- "Os resíduos e efluentes devem ser recolhidos, armazenados, transportados eliminados ou reutilizados de tal forma que não constituam perigo imediato ou potencial para a saúde humana nem causem prejuízo para o ambiente."
- "Em território nacional ou área sob jurisdição portuguesa é proibido lançar, depositar ou, por qualquer outra forma, introduzir nas águas, no solo, no subsolo ou na atmosfera efluentes, resíduos radioactivos outros e produtos que contenham substâncias ou microrganismos que possam alterar as características ou tornar impróprios para as suas aplicações aqueles componentes ambientais e contribuam para a degradação do ambiente"

E à sua posterior valorização...

- "Os resíduos sólidos poderão ser reutilizados como fontes de matérias-primas e energia"
- "A definição de uma política energética baseada no aproveitamento racional e sustentado de todos os recursos naturais renováveis".

Apesar do estabelecido na Lei de Bases do Ambiente, também na política ambiental, como refere Rui Santos (1999) [33] "existe uma assinalável distância entre as intenções manifestadas e a prática corrente, nomeadamente reflectida na quase ausência de aplicação de uma abordagem económica na Política ambiental em Portugal".

No caso da digestão anaeróbia, apesar de serem reconhecidas as suas vantagens na política dos resíduos, carece de medidas concretas ao seu desenvolvimento e é muitas vezes preterida a favor da incineração ou da compostagem. Entre as poucas medidas tomadas

destaque para o Decreto-Lei n.º 477/99 que introduz um regime de crédito fiscal ao investimento em imobilizado corpóreo para protecção do ambiente. Engloba os equipamentos “na área dos resíduos sólidos, os equipamentos de valorização energética (incineração e biogás) e de valorização biológica (compostagem e digestão anaeróbia) ”.

A UE tem apertado o cerco ao despejo dos resíduos orgânicos sem tratamento, particularmente para os RSU e para as lamas de ETAR's. Há que realçar duas directivas já transpostas para o direito nacional:

- Directiva 1999/31/CE relativa à deposição de resíduos em aterros. A directiva fixa objectivos quanto à proporção de resíduos urbanos biodegradáveis depositados em aterros. Essa proporção tem de ser inferior a 75%, 50% e 35% da proporção depositada em 1995, respectivamente, 5, 10 e 15 anos após a transposição da directiva.
- Directiva 91/271/CEE, relativa ao Tratamento de Águas Residuais Urbanas. O objectivo é “proteger o ambiente dos efeitos nefastos das descargas das águas residuais urbanas e das águas residuais de determinados sectores industriais, através da fixação de critérios para o processo de recolha, tratamento e descarga das mesmas” (INAG, 2002) [23]. Esta directiva obriga os estados membros a construírem sistemas colectores e ETAR's de forma a cobrirem todo o país no final de 2005. Para além disso estabelece os níveis de tratamento a dar a essas águas residuais. Ou seja, define os valores de concentração ou percentagem de redução da matéria orgânica para as águas rejeitadas pelas ETAR's (INAG, 2002) [23]. A digestão anaeróbia surge como um processo adequado para tratamento das lamas geradas nas ETAR's, permitindo a sua estabilização e redução do seu volume para além da sua valorização energética (biogás) e biológica (fertilizante).

A primeira directiva está reflectida no Plano de Acção para os Resíduos Sólidos Urbanos (PARSU), 2000 – 2006 [25]. O PARSU tem como um dos objectivos o aumento da capacidade instalada de valorização orgânica e energética através da digestão anaeróbia. Prevê o aproveitamento dos resíduos biodegradáveis para utilização na agricultura e queima do biogás. O PARSU surge no seguimento do Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU) que dá prioridade à prevenção, reutilização e reciclagem.

Os resíduos industriais são regidos pelo Plano Estratégico de Gestão dos Resíduos Industriais (PESGRI), aprovado no decreto-lei nº 89/2002. O plano estabelece “prioridade absoluta a sua redução, reutilização e reciclagem” dos resíduos. Uma das metas apontadas no decreto é “a de possuir, por cada sector de actividade e mesmo por cada estabelecimento produtor de resíduos, a certeza de que existe um programa de gestão de resíduos

consentâneo com uma óptica de «redução/valorização» prévia ao destino final”. Por outro lado incentiva o rápido processamento de pedidos de autorização para a construção de infraestruturas de gestão de resíduos, incluindo unidades de valorização energética e orgânica. Só falta aplicá-lo. No caso dos resíduos é necessário apertar o controlo sobre o seu destino. Normalmente há conhecimento da quantidade produzida por cada actividade, é pois importante fiscalizar a produção desses resíduos e inquirir os seus produtores sobre o destino que lhes é dado.

No âmbito do terceiro Quadro Comunitário de Apoio, o Programa Operacional do Ambiente para 2000-2006 através do Fundo de Coesão prevê o apoio financeiro a grandes infraestruturas “no domínio das três vertentes de saneamento básico (abastecimento de água, águas residuais e resíduos sólidos urbanos)” à luz do desenvolvimento sustentável [67]. Este programa aponta como objectivos estratégicos para 2006 a prestação de serviços de tratamento de águas residuais a 90% da população e a valorização energética e orgânica de 20 e 25%, respectivamente, do total dos RSU tratados. Este programa prevê a aplicação de tarifas que reflectam o princípio do poluidor pagador, e prevê o financiamento de investimentos pesados em infraestrutura. A estação de tratamento e valorização orgânica da Valorsul, na Amadora, é um exemplo da aplicação destes apoios: financiamento de 50% do investimento de 4 milhões de contos da construção da central e o estabelecimento de tarifas para a recolha dos resíduos.

4.1.3 POLÍTICA AGRÍCOLA

No manual básico de práticas agrícolas (MARDP, 2000) [42] é apontada como uma das formas de aumentar a fertilidade do solo o seu enriquecimento em matéria orgânica. O mesmo manual aconselha a incorporação periódica de um dos seguintes correctivos orgânicos: composto proveniente de explorações agrícolas, composto de RSU ou de lamas do tratamento de efluentes em boas condições fitossanitárias. Também aconselha a utilização de fertilizantes orgânicos. O problema é que estas indicações têm um carácter facultativo e por isso com poucos resultados práticos. É necessário criar medidas que obriguem o agricultor a aplicar de facto estes produtos.

Apesar de muitas referências à digestão anaeróbia e ao biogás, tal como às energias renováveis em geral, estas carecem de programas específicos para o seu desenvolvimento.



4.2 OPÇÕES PARA UMA POLÍTICA NACIONAL

Neste capítulo são enunciadas algumas ferramentas que podem dar o incentivo necessário a este processo, algumas delas já introduzidas com sucesso noutros países europeus, casos da electricidade verde, do sistema de quotas e certificados verdes, dos impostos sobre as emissões poluentes, dos impostos sobre os fertilizantes sintéticos e a taxa do lixo. As políticas que forem adoptadas terão de enviar um sinal claro de estabilidade e longevidade. Terão que ser políticas com objectivos concretos, quantificados, com prazos estabelecidos, simples e pouco burocráticas.

Nesta análise são privilegiados os instrumentos económicos, porque ostentam um maior "potencial de eficiência e eficácia económica, corrigindo as causas económicas dos problemas ambientais através da criação e/ou utilização de mercados" (Rui Santos, 1999) [33]. Ou seja, possibilitam uma melhor internalização dos custos externos. Os instrumentos de comando e controlo, ou de regulação directa, são considerados menos eficientes e eficazes a nível económico e ambiental e, designadamente, como incentivo ao desenvolvimento tecnológico. No entanto podem ser mais eficazes quando utilizados em conjunto com instrumentos económicos e quando não envolvam muitos custos administrativos e burocráticos. Um exemplo é a aplicação conjunta do sistema de quotas (regulação) com os certificados verdes (económico).

Outros instrumentos referidos são os instrumentos de informação ou divulgação. Não nos podemos esquecer que a informação é essencial à prossecução de qualquer política de sucesso. Geralmente os agentes informados apresentam uma maior predisposição para escolhas ambientalmente responsáveis.

4.2.1 ELECTRICIDADE VERDE

A electricidade verde é um produto que dá a possibilidade aos consumidores de optarem por energia produzida através de fontes renováveis, excluindo a grande hídrica, pagando por isso um custo extra. As receitas geradas permite à companhia de electricidade, no nosso caso a EDP, comprar energia renovável a produtores independentes ou produzi-la ela própria. Apesar de existirem consumidores dispostos a consumir esta energia "limpa", por vezes sentem alguma relutância em aderir. Para os incentivar devem ser tomadas várias medidas:

- A empresa produtora tem de possuir garantias de origem de toda a electricidade de fontes renováveis que vende.
- Criação de uma marca forte associada a essa energia, com um logótipo atraente e facilmente reconhecível. Essa marca teria que ter o apoio de associações ambientalistas importantes como por exemplo a Quercus ou a Greenpeace.

- Facilitar ao máximo a mudança do regime antigo para este novo.
- A venda de electricidade verde deve dar acesso a todo um pacote de serviços de qualidade.
- Dar notoriedade a esses clientes através da atribuição, por exemplo, de um cartão, porta-chaves, t-shirts, autocolantes para o carro. Esta condição é fundamental para as empresas. As empresas querem transmitir uma imagem de responsabilidade ambiental. Essa sinalização pode ser feita através da utilização do logótipo nos seus produtos e/ou da criação de uma nova norma do tipo ISO 14001 que incluiria como requisito de certificação o consumo de electricidade verde e/ou da divulgação anual de uma lista das empresas que consomem electricidade verde;
- Isenção do pagamento da taxa da energia;
- Preferência em futuras campanhas para instalação de equipamentos que utilizem fontes renováveis de energia (por exemplo os painéis solares).

4.2.2 TARIFAS VERDES

A tarifa verde é o preço pago por kWh produzido a partir de fontes renováveis e que engloba um prémio pelas emissões de gases poluentes evitadas em relação às centrais convencionais. Para que este instrumento seja eficaz é imprescindível a obrigatoriedade do operador eléctrico adquirir toda a electricidade disponibilizada por estes produtores e a garantia que o acesso à rede de transporte e distribuição é feito rapidamente e sem obstáculos. Os custos adicionais são somados às tarifas dos consumidores finais.

As tarifas verdes têm desempenhado um papel importante no arranque das energias renováveis, por exemplo na Alemanha, Dinamarca e Espanha (Sijm, 2002) [47]. No entanto é necessário algum cuidado na sua implementação de forma a evitar desvantagens que lhe são apontadas. Por um lado, é um custo acrescido para os distribuidores de electricidade que são obrigados a adquirir a totalidade da energia produzida. Este problema terá maior peso quando for criado o mercado de electricidade liberalizado e competitivo a nível europeu, penalizando as empresas que operam em regiões onde a percentagem de energias renováveis é maior.

Outra desvantagem deve-se ao facto destas tarifas não promoverem a inovação necessária ao aumento da eficiência. A tarifa deve ser fixada de modo a incentivar o investimento sem deixar de incentivar a inovação. Um modo de o conseguir é através da inclusão na equação da tarifa de um factor que penalize o mau desempenho dos digestores em funcionamento comparando-os com a melhor tecnologia disponível no mercado.

Para serem eficazes e não criarem grandes distorções no mercado as tarifas devem ter um horizonte temporal limitado e ser decrescentes durante esse período. Todas as questões

relacionadas com a remuneração da energia devem ser claras, simples e estáveis para criar um ambiente de menor incerteza e risco para o investidor.

4.2.3 SISTEMA DE CONCURSOS

As entidades públicas, de acordo com os seus objectivos, podem lançar concursos públicos para atribuição de diversos apoios que poderão assumir a forma de subsídios ao investimento, um prémio extra na tarifa verde, a concessão do tratamento dos resíduos de determinadas áreas com um elevado potencial ou a atribuição de uma tarifa pela recolha e tratamento desses resíduos. Nas propostas são avaliados os custos do projecto, qualidade técnica, preocupações ambientais e impacto social e económico. Os projectos escolhidos são os que apresentam maior eficácia e eficiência, ou seja, com a melhor relação qualidade preço. É crucial que os projectos escolhidos sejam realmente implementados.

No Reino Unido e na Irlanda os produtores que concorrem ao concurso têm que apresentar na sua proposta a tarifa que estão dispostos a receber. Aos produtores que ganharem é garantida essa tarifa. Desde que foi implementado este processo as tarifas verdes desceram de 6,5p/kWh para 2,71p/kWh (Haas, 2001) [50].

Os concursos devem ser lançados apenas até serem atingidos os objectivos inicialmente definidos e divulgados. Isto para evitar que os investidores estagnem o investimento na expectativa do aparecimento de novos concursos.

4.2.4 SISTEMA DE QUOTAS E CERTIFICADOS VERDES TRANSACCIONÁVEIS

O sistema de quotas e os certificados verdes apesar de serem dois instrumentos diferentes funcionam melhor quando aplicados conjuntamente. Os certificados são atribuídos aos produtores de electricidade a partir de recursos renováveis e correspondem aos kWh produzidos e à sua qualidade (que depende da tecnologia utilizada). Ao mercado é imposta uma quota mínima de comercialização de electricidade de origem renovável. Essa quota pode ser imposta tanto às empresas distribuidoras como aos consumidores. A atribuição das quotas aos consumidores finais provoca menores distorções ao mercado e permite aplicar diferentes quotas a diferentes consumidores, garantindo maior justiça social e económica. Mas a imputação aos produtores e distribuidores implica menores custos de monitorização e fiscalização, e simplifica o processo.

Para atingir a percentagem atribuída cria-se um novo mercado onde são transaccionados os certificados verdes. Os produtores independentes passam a ter duas fontes de receita: a venda da electricidade e a venda dos certificados. Os agentes económicos sobre os quais é

imposta a quota têm de apresentar em certificados verdes os kWh que cubram a quota estabelecida. Caso isso não aconteça terão que pagar uma multa por cada kWh que deveria estar coberto por certificados e não esteja.

De acordo com os objectivos do governo é possível estabelecer quotas maiores ou menores para cada uma das energias renováveis, ou optar pela distribuição de pesos diferentes a cada uma das tecnologias de acordo com os seus benefícios ambientais

A directiva da Comissão relativa à produção de electricidade a partir de fontes renováveis indica o fim do mês de Outubro de 2003 para que essas fontes apresentem uma garantia de origem. Essas garantias não têm que ser negociáveis mas podem vir a sê-lo, substituindo os certificados verdes (ECN, 2003) [66].

Uma variante do mecanismo descrito anteriormente é a imposição não de uma quota de electricidade proveniente de energias renováveis, mas de um máximo de emissões de gases com efeito de estufa por kWh. Mais uma vez seriam comercializados certificados onde constava não só os kWh produzidos pela central mas também as emissões por kWh. Neste caso o biogás teria vantagem sobre as outras fontes renováveis devido às emissões de metano evitadas.

Para estimular o mercado essa quota será progressivamente aumentada tendo em conta o potencial para cada fonte de energia renovável e a potência já instalada.

4.2.5 CONVOCAR AS AUTORIDADES LOCAIS

Pelo carácter disperso da distribuição dos resíduos orgânicos, produzidos em todo o país, quaisquer medidas que sejam tomadas têm de ter o apoio e participação activa das autoridades locais. É ao nível local que é mais fácil identificar oportunidades e implementar novas tecnologias. A distribuição dos apoios estatais e a fiscalização são funções que podem e devem ser descentralizadas e assumidas pelos municípios. No entanto o poder central tem de estabelecer de forma clara e objectiva as directrizes quanto à adopção da digestão anaeróbia no tratamento desses resíduos.

Mais do que canalizar verbas para os municípios ou obrigá-los a instalar digestores anaeróbios, é importante convencê-los das vantagens económicas desta tecnologia (cap. 3), realçando o impacto na geração de emprego, aumento do rendimento, fixação de população e produção energética.

Para incentivar os municípios deve ser atribuída uma verba para contratar e formar pessoal especializado. Em regiões onde sejam instalados vários digestores, pode fazer sentido criação

de um gabinete de assistência e manutenção, aumentando assim a confiança dos produtores. Outra medida era a criação do prémio “Município Luz Verde”, que seria entregue ao município que conseguisse maior produção eléctrica *per capita* de origem renovável, excluindo a grande hídrica, e um outro prémio do mesmo género mas com o objectivo de incentivar a valorização dos resíduos biodegradáveis: “Município Biológico”.

Outra forma de apoiar as autarquias no desenvolvimento das energias renováveis, incluindo o biogás, é através das Agências Locais e Regionais de Energia. Com estes organismos é possível agregar vários municípios numa agência, dividindo os custos e partilhando conhecimentos e experiências de implementação, planeamento e desenvolvimento de energias renováveis. Em Portugal foram já criadas várias agências e algumas com resultados bastante positivos, como é o caso da Agência Municipal de Energia de Gaia, a ENERGAIA. Uma das tarefas de maior relevância destas agências é a sensibilização da população local para as vantagens das tecnologias amigas do ambiente e da consequente melhoria da sua qualidade de vida. Comunidades informadas são comunidades iluminadas. Num país regido por políticas de curto prazo, cujo principal objectivo é garantir a próxima eleição, a pressão dos eleitores é o motor primordial para a implementação de políticas sustentáveis.

Da Dinamarca chega-nos um bom exemplo para as autoridades locais da aplicação da digestão anaeróbia (Poulsen, 2003) [68] (Seadi, 2000) [27]. No município de Herning existe um sistema centralizado que pertence e é gerido pelo município. Esta central recebe o estrume das explorações agro-pecuárias (algumas ligadas por condutas), os resíduos de indústrias alimentares e os lixos domésticos biodegradáveis. O facto de a central resolver parte do problema dos detritos locais, de as receitas com a venda da electricidade serem aplicadas para benefício da comunidade e de a matéria final, em boas condições fitossanitárias, ser utilizada pelos agricultores locais cria na comunidade uma predisposição para contribuir para o sucesso do sistema. Este sentimento positivo facilita por exemplo a separação dos lixos domésticos e sensibiliza a população, nomeadamente os jovens, para as vantagens deste processo. A central poderia inclusive vender a electricidade directamente aos munícipes com benefícios para ambos.

4.2.6 UNIÃO À EUROPA

Com o alargamento da União Europeia a Leste vários estudos indicam que Portugal será o grande perdedor com a deslocalização industrial, perda de investimento directo estrangeiro e desvio de fundos comunitários (Leitão, 2003) [46]. É importante Portugal tirar partido de fundos onde, teoricamente, terá menor concorrência. Os programas de incentivo às energias renováveis não são à partida uma prioridade para os novos estados da União, facto do qual o

país deverá tirar proveito. A UE possui outros programas que podem contribuir para o desenvolvimento da digestão anaeróbia, como por exemplo o programa LIFE. Este programa visa o desenvolvimento sustentável e atribui financiamentos para projectos com efeitos positivos para o ambiente. Este programa dá prioridade à digestão anaeróbia e à compostagem para tratamento dos resíduos biodegradáveis.

A ligação à União Europeia neste âmbito só pode trazer vantagens a Portugal, não só pelos apoios financeiros, mas, principalmente, pela experiência adquirida por alguns Estados Membros neste tipo de tecnologia, como por exemplo, as estações centralizadas da Dinamarca (país inovador nesta área), Alemanha, Itália, Áustria ou Holanda, ou o sistema de transporte de resíduos por bombagem utilizado em Itália (Di Berardino, 2000) [28]. O Estado português deve estar atento a todas as iniciativas desenvolvidas pela União Europeia nesta área, bem como às estratégias implementadas com sucesso noutros Estados Membros. Nos últimos anos, e apesar das campanhas promovidas pela União, esta não tem sido uma preocupação nacional.

A ligação à União Europeia terá especial importância quando o mercado europeu de electricidade for liberalizado. Nessa altura será imperativa uma harmonização dos instrumentos utilizados pelos diversos Estados Membros, especialmente, uma harmonização fiscal na internalização dos custos externos provocados pelos combustíveis fósseis. Portugal deve começar já a perceber qual a tendência europeia em relação aos instrumentos que irão ser adoptados no futuro. Num futuro mercado liberalizado os Certificados Verdes e a electricidade verde serão os instrumentos com maior probabilidade de serem adoptados pois não provocam distorções de mercado e incentivam a competitividade e eficiência dos produtores (Sambeek, Thuijl, 2003) [63].

4.2.7 APOIO AO INVESTIMENTO

Os apoios ao investimento são importantes para ultrapassar uma das principais barreiras à penetração da digestão anaeróbia: elevado custo inicial e falta de capital dos produtores de resíduos. Maior parte das centrais convencionais em operação no país foi altamente subsidiada durante a sua construção o que provoca distorções ao mercado, nomeadamente em relação às tarifas.

O estado pode utilizar diversos instrumentos nestes programas de incentivo: subsídios a fundo perdido, empréstimos com taxa de juro reduzida ou nula, isenção fiscal sobre estes investimentos, disponibilização de garantias aos empréstimos ou através de doações, por exemplo de terrenos ou instalações.

O incentivo deve ser atribuído tendo presente as tecnologias disponíveis no mercado e os custos de instalação, para evitar que os produtores inflacionem os custos com o objectivo de receberem um maior financiamento. Como acontece no MAPE o incentivo deve estar directamente ligado aos kWh produzidos pela central. Essa produção tem de ser controlada posteriormente e caso não esteja a ser cumprida o produtor deve ser penalizado.

Estes financiamentos para serem eficazes têm de ser divulgados, assim como os requisitos a que devem obedecer. Os potenciais produtores do biogás devem receber um documento simples com todos os passos a percorrer para aceder às verbas disponibilizadas. Os programas de incentivos são auxílios muito importantes na introdução de tecnologias recentes ou pouco utilizadas como é o caso da digestão anaeróbia. À medida que a implementação tecnológica vai crescendo aumenta a confiança dos agentes económicos e desenvolvem-se outras actividades ligadas ao sector, como por exemplo as empresas de manutenção.

4.2.8 TAXAS SOBRE OS GASES COM EFEITO DE ESTUFA

As externalidades criadas pela produção de electricidade com combustíveis fósseis são sobejamente conhecidas e foram já referidas no capítulo 2.3.1. De forma a corrigir esta falha de mercado o Estado deve fomentar a internalização destes custos, deve fazer reflecti-los nos custos da electricidade. As taxas sobre as emissões de dióxido de carbono (CO_2) e dióxido de enxofre (SO_2) são uma forma de alcançar esse objectivo.

O imposto pode ser calculado através de uma função crescente com as emissões. O coeficiente associado às emissões deve ser encarado como o custo marginal de poluir. A fórmula deve incluir os kWh produzidos a partir de fontes renováveis, mas com um coeficiente negativo, contribuindo assim para a diminuição do imposto. Esse coeficiente seria mais ou menos negativo de acordo com os benefícios ambientais associados a cada uma das energias alternativas

A fórmula pode ser definida de tal forma que compense aos produtores instalados investir no sector ou transferir subsídios para os produtores independentes.

A penalização às emissões deve estender-se às emissões de metano. As instalações pecuárias e industriais que não procedam ao tratamento dos seus resíduos devem ser penalizadas por isso. Também as entidades gestoras de aterros sanitários e de ETAR's devem ser penalizados pela libertação de metano.

As taxas devem ser acompanhadas por acordos voluntários de aumento da eficiência energética, que possibilitam às empresas que os adoptam a redução do impacto fiscal. Como acontece noutros países europeus este sistema deve visar a neutralidade fiscal, ou seja, as

receitas arrecadadas devem ser canalizadas para a redução, por exemplo, dos encargos com a segurança social, ou a tributação sobre os dividendos, ou ainda canalizados para fundos de apoio às PME's e para medidas de aumento da racionalização energética.

Estes impostos serão melhor aceites se existir um custo efectivo associado às emissões de gases com efeito de estufa. O mesmo acontece com as tarifas verdes ou com os certificados verdes. Os agentes económicos têm que receber a mensagem que os custos externos provocados por estes gases serão internalizados. Se o Protocolo de Quioto e respectivas metas e multas forem para a frente a mensagem é clara. Portugal deve apoiar claramente a sua introdução ou outras iniciativas europeias com o mesmo fim.

O Protocolo de Quioto pode também incentivar a digestão anaeróbia através do mecanismo "Desenvolvimento Limpo". Este incentiva empresas dos países do anexo B (países desenvolvidos) a investir em países em vias de desenvolvimento, em projectos com efeitos benéficos sobre o ambiente. Em troca recebem "certificados de redução de emissões". O biogás enquadra-se bem neste instrumento.

4.2.9 APOSTA NO ENSINO E INVESTIGAÇÃO

Actualmente os resíduos não são uma das preocupações do cidadão comum, excepto quando interferem directamente na sua vida. É importante uma maior sensibilização da opinião pública para as questões ambientais e energéticas. Só cidadãos bem informados e convencidos é que participarão activamente em processos que valorizem os resíduos. Como as mentalidades demoram a mudar este trabalho deve começar nas camadas mais jovens com a introdução desta temática em diversas disciplinas no ensino básico e secundário. Existem diversas disciplinas onde estes assuntos podem ser introduzidos. No entanto há que apresentar não só os problemas mas também as soluções. No ensino universitário as tecnologias do ambiente, nomeadamente, a digestão anaeróbia podem ser incluídas no programa de diversos cursos, como por exemplo engenharia ambiental e engenharia agrícola.

Mas mais do que formar técnicos de instalação e manutenção é essencial formar cientistas que contribuam para a evolução desta tecnologia: correcção de falhas técnicas, redução de custos, redução dos tempos de retenção, aumento da eficiência na produção de metano e aumento da simplicidade de operação e manutenção. A I&D realizada em Portugal na área do biogás limita-se à que é feita no INETI. É necessário alargar essa actividade a outros institutos, nomeadamente universitários, criar sinergias com pólos internacionais e aproveitar fundos comunitários para novos projectos de investigação.

O investimento em I&D é uma estratégia de longo prazo e que por vezes demora muitos anos a dar frutos. Por esse motivo são políticas pouco aliciantes no curto prazo. Mas são políticas que devem ser estáveis e continuadas para garantir estabilidade aos investigadores e aumentar a confiança do mercado nessa tecnologia. Portugal deve aproveitar o desenvolvimento do mercado interno desta tecnologia para assumir um papel de destaque na sua evolução criando patentes e marcas nacionais, contribuindo para a criação de produtos transaccionáveis com efeito positivo na balança comercial.

4.2.10 A INFORMAÇÃO E DEMONSTRAÇÃO

Uma política de I&D não fica completa sem a divulgação das inovações alcançadas, por isso se fala em I&D&D, investigação, desenvolvimento e demonstração. Uma forma das autoridades divulgarem o resultado da investigação é através da promoção e publicação de prémios científicos para as melhores descobertas e o fomento de feiras e exposições tecnológicas. É crucial a ligação com a indústria para a implementação e demonstração dos desenvolvimentos alcançados, para evoluírem de pequenos projectos de laboratório para projectos em grande escala.

Uma hipótese para a demonstração da digestão anaeróbia seria a criação de um centro nacional para o biogás a funcionar numa instalação agro-pecuária e de agricultura biológica, que englobaria um projecto-piloto com ampla divulgação dos resultados e vantagens da experiência. Poderia ser um projecto integrado nas quintas pedagógicas existentes no país, como por exemplo na Escola Ambiental em Alcácer do Sal. Teria que ser um projecto mediatizado e com uma vertente educativa e de esclarecimento, incluindo a realização de visitas, conferências e disponibilização de informação sobre tecnologias, custos e benefícios económicos e ambientais.

No âmbito desta iniciativa deveriam ser criados panfletos bastante simples a ser distribuídos por agricultores, municípios e indústria, com uma referência aos vários apoios estatais.

As associações e cooperativas de agricultores podem desempenhar um papel importante na divulgação das vantagens da aplicação destes produtos na terra, nomeadamente, em relação ao estrume não tratado (cap. 2.2).

Simultaneamente seria criado um gabinete que disponibilizaria apoio aos potenciais utilizadores da digestão anaeróbia, que, em muitos casos têm pouca experiência, conhecimentos e capacidade. Entre outras prestaria informação sobre a legislação em vigor, as tecnologias existentes, quais as que melhor se adaptam a cada situação, quais os seus

fornecedores e empresas de manutenção, dados sobre a evolução do sector no país e na Europa e divulgação de casos de sucesso. Poderia também estabelecer o contacto com a rede pública de electricidade de modo a negociar a ligação e transporte da electricidade produzida.

Por fim há outro grupo, porventura o mais importante, que é necessário sensibilizar para esta realidade: a classe política. Só com a convicção dos decisores nacionais as políticas aqui expostas poderão ser implementadas e a digestão anaeróbia poderá ser uma realidade.

4.2.11 INSTRUMENTOS AGRÍCOLAS

A matéria orgânica final tem um valor indiscutível para os solos (cap. 2.2) e um valor financeiro importante para aumentar a rentabilidade do projecto. É importante a criação de um mercado para estes produtos de forma a atrair investidores.

Na Europa alguns casos de sucesso na valorização orgânica dos resíduos afirmam não ter muita dificuldade em vender o composto final, particularmente para jardins privados (Comissão Europeia, 2000) [59]. Alguns municípios europeus optaram por oferecer gratuitamente ou subsidiar o composto numa fase inicial, para ganhar a confiança dos agricultores.

A agricultura biológica é outro dos destinos para estes produtos. A agricultura biológica assenta em práticas agrícolas sustentáveis que minimizem os impactos negativos sobre o ambiente (inclui a não utilização de fertilizantes inorgânicos e pesticidas) e que mantenham elevados níveis de matéria orgânica no solo. Pelos benefícios ambientais a ela associados espera-se que Portugal acompanhe a União Europeia no apoio disponibilizado. A reforma da Política Agrícola Comum (PAC) enfatiza o importante papel que a agricultura deve desempenhar na preservação do ambiente e recursos naturais e dirige os seus apoios a actividades que mantenham ou melhorem a qualidade ambiental. Numa altura em que Portugal enfrenta uma elevada concorrência agrícola muito subsidiada, a aposta na agricultura biológica deve ser encarada como forma de diferenciação positiva.

Para aumentar a confiança do mercado o composto deve cumprir normas de qualidade apertadas. Deve ser criado um rótulo de certificação da qualidade que seja facilmente reconhecido. O rótulo deve conter informação sobre as características do composto, designadamente sobre os nutrientes que possui e a sua origem.

No caso de sistemas centralizados de tratamento é apropriada a criação de um serviço posterior de aplicação do composto ou do fertilizante líquido no solo. A central recebia os resíduos, procedia ao seu tratamento e seria responsável pela sua disseminação na terra.

4.2.12 IMPOSTO SOBRE OS FERTILIZANTES

A Dinamarca quando se deparou com um grave problema de poluição dos seus cursos de água decidiu penalizar fiscalmente os fertilizantes sintéticos o que fez disparar a procura de fertilizante orgânicos dando um forte incentivo ao desenvolvimento da digestão anaeróbia (O'Brien, Hoj, 2001) [55]. Esse imposto também pode ser aplicado em Portugal. O imposto deveria ser acompanhado de um crédito fiscal para cada agricultor de acordo com a área e os produtos cultivados e as suas necessidades de nutrientes. O crédito sofreria alterações há medida que evoluíssem os objectivos do Estado e o mercado de fertilizantes orgânicos (para não criar a necessidade de importar). Estes impostos podem influenciar negativamente a competitividade da agricultura nacional. Para evitar isso o Estado pode obrigar que parte dos subsídios que canaliza para o sector sejam aplicados em práticas agrícolas sustentáveis, nomeadamente, na utilização de fertilizantes orgânicos.

4.2.13 PROCURA PÚBLICA

As entidades públicas podem ter um papel importante no desenvolvimento da digestão anaeróbia e do biogás através da procura de tecnologia e dos produtos finais:

- Instalação de digestores em sistemas controlados pelas autoridades locais, caso de ETAR's, estações de tratamento de resíduos urbanos e aterros sanitários. Este investimento tem de ser encarado como um investimento em capital social fixo, ou seja, como investimento necessário ao desenvolvimento sustentável permitindo a valorização total de recursos.
- Aquisição do material orgânico final para aplicação em jardins públicos, em espaços verdes de instalações públicas, em parques naturais e no combate à desertificação.
- Procura de electricidade verde, através da sua aplicação em edifícios públicos e para iluminação pública.

O Estado pode assim substituir o mercado criando programas que dêem confiança aos investidores e aos responsáveis pela produção dos resíduos, diminuindo os riscos do projecto. Os contratos estabelecidos devem sempre exigir elevados níveis de qualidade.

4.2.14 SEPARAÇÃO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS

Para produzir um composto de boa qualidade e para diminuir o risco de contaminação das bactérias com outros resíduos é necessário recolher os lixos biodegradáveis separadamente. No caso dos efluentes da pecuária e da indústria e no caso das lamas de ETAR's essa situação está garantida à partida. No caso dos RSU há muito trabalho a fazer.

I) DESPEJO NO SISTEMA DE ÁGUAS RESIDUAIS

Uma das medidas que pode ser estudada e que apresenta um enorme potencial é a utilização de trituradores de lixo orgânico nos lava-loiças. Caso não haja problemas técnicos, nomeadamente para as ETAR's, deve ser obrigatória a sua inclusão nas novas construções e deve ser criado um benefício fiscal de forma a introduzir esta tecnologia nas instalações já existentes. Desta forma parte dos resíduos orgânicos vão parar ao sistema de tratamento de águas residuais, sendo no final tratados através da digestão anaeróbia quando esta for uma realidade. Este produto conhecerá um maior impulso depois da introdução de uma taxa do lixo (cap. 4.2.15).

II) RECOLHA SELECTIVA DE RESÍDUOS

A aposta na recolha selectiva dos RSU é fundamental para o sucesso da sua valorização orgânica e energética. A recolha permite-nos dispor de uma fracção orgânica não contaminada produzindo produtos finais de maior qualidade.

Apesar das dificuldades o país tem que insistir na política dos três R's (reduzir, reutilizar e reciclar). Segundo a Sociedade Ponto Verde 68% dos consumidores nacionais não fazem separação de embalagens para reciclar, apesar desta sociedade ter sido criada há já seis anos com o objectivo de aumentar essa fracção recuperada. Segundo a Quercus apenas 8,1% das embalagens são recicladas.

No que diz respeito ao lixo orgânico a separação é quase nula. Como medida imediata o Estado deve obrigar os sistemas municipais de recolha e tratamento de lixos a recolher separadamente os resíduos orgânicos dos grandes produtores: restaurantes, cantinas (de escolas, universidades, empresas, hospitais, prisões e instalações do exército), mercados, jardins e parques. Depois deve ser imposta a obrigatoriedade de recolha da fracção orgânica dos lixos, por exemplo para localidades com mais de 5 000 habitantes como acontece na Catalunha (Comissão Europeia, 2000) [59].

Em relação aos lixos domésticos o trabalho é mais complicado, pois envolve muito mais pessoas e com maiores custos nos sistemas de recolha, fiscalização e monitorização. A recolha porta a porta tem sido um dos métodos adoptados com maior sucesso na Europa, porque minimiza o esforço da população. Em Portugal as zonas com maiores índices de reciclagem são as que utilizam este processo. O lixo pode ser recolhido através de sacos de papel ou de plástico biodegradável ou através de contentores específicos localizados no exterior das habitações. É importante que os contentores localizados na via pública sejam desenhados de forma a não causarem repugnância a quem vai despejar os lixos,

nomeadamente pela libertação de maus cheiros. Pode também ser distribuído um pequeno recipiente para a cozinha.

A Comissão Europeia (2000) [59] aponta para uma recolha selectiva de sucesso os seguintes factores:

- A frequência de recolha tem que ser elevada, para evitar problemas ambientais, nomeadamente, problemas de odores;
- Para diminuir os custos, os veículos utilizados na recolha podem ser partilhados com a recolha de outros resíduos;
- Informar e sensibilizar os munícipes sobre o novo sistema e as suas vantagens económicas e ambientais. É importante uma boa campanha de marketing, principalmente, na fase inicial;
- Planificação pormenorizada, uma estratégia clara e bem definida e boa gestão;
- Instalação de um gabinete municipal para esclarecimento dos participantes e para pedidos de recolha de grandes quantidades de resíduos;

Em Portugal temos dois exemplos de recolha selectiva da fracção orgânica dos lixos domésticos: a Lipor (Serviço Intermunicipalizado de Tratamento de Lixos da Região Porto), na Área Metropolitana do Porto, e a AMTRES (Associação de Municípios de Cascais, Oeiras, Sintra e Mafra para o Tratamento de Resíduos Sólidos), na área Metropolitana de Lisboa. A matéria recolhida destina-se à compostagem e ambas apresentam resultados positivos na venda do composto final. Em ambos os casos a recolha limita-se a pequenas áreas experimentais e o seu sucesso depende da adesão dos munícipes.

4.2.15 TAXA DO LIXO

Um sistema que pode ser aplicado em Portugal, com numerosos exemplos tanto na União Europeia como nos Estados Unidos, é a criação de uma taxa do lixo que espelhe o Princípio do Poluidor Pagador (Eunomia Research & Consulting, 2002) [60]. Segundo este princípio o poluidor deve suportar os custos das medidas tomadas pelas autoridades públicas para prevenção e controlo da poluição. Essa taxa é normalmente composta por uma parte fixa que depende do tipo de habitação e do número de ocupantes e por uma parte variável que depende do lixo produzido. A parte fixa tem como objectivo cobrir os custos fixos do processo. A parte variável da tarifa tem como objectivos reduzir a produção de lixo e incentivar a sua separação penalizando a porção não separada. Essa medição poderia ser feita de diversas maneiras. Com base em alguns exemplos europeus são apresentadas, sucintamente, quatro hipóteses possíveis:

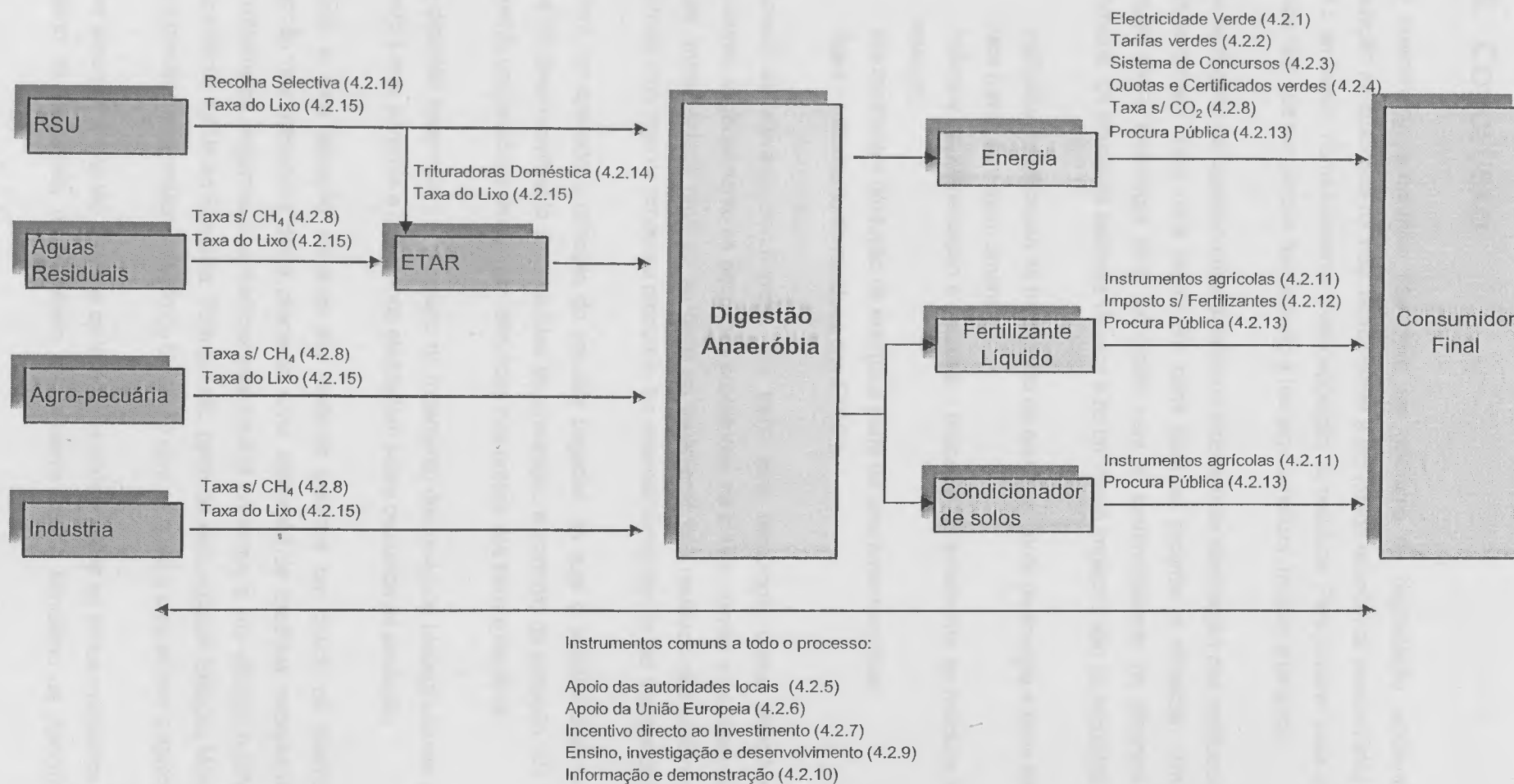
- Pagamento dos sacos suplementares que os habitantes necessitem para além dos fornecidos pelo município;
- Os municípios podem levantar, através de um cartão magnético, em diversos pontos específicos, sacos com cores diferentes para cada tipo de lixo e uma etiqueta por cada saco. Esses sacos são posteriormente recolhidos porta-a-porta através de veículos que se encarregam de pesar os sacos.
- Semelhante ao anterior, com a diferença que os sacos são depositados pelo poluidor em pequenos recintos fechados que contêm contentores das mesmas cores e que só podem ser acedidos com o cartão magnético. Esses contentores pesam o lixo depositado por cada habitante que lá entra e associam-no aos dados do cartão, criando uma base de dados. Em todas as recolhas são fiscalizados aleatoriamente alguns sacos.
- Cada habitação possui contentores privados para os diversos resíduos. Cada um desses contentores contém um chip com os dados da habitação. Os veículos de recolha dos contentores têm um sistema de pesagem automática do contentor e de leitura do chip.

Com estes sistemas são criadas bases de dados que permitem controlar quem é que está a produzir pouco lixo e ver se isso se deve a evasões ao sistema. A taxa do lixo pode levar as pessoas a despejarem o lixo em áreas não controladas, a queimá-lo ou a despejá-lo em municípios sem taxa. É importante apertar a fiscalização a estas situações.

Também no caso das indústrias agro-alimentares, das explorações agro-pecuárias e das ETAR' faz todo o sentido a aplicação do princípio do poluidor pagador. À partida o controlo sobre estes resíduos está facilitado pois conhece-se a sua localização e com os dados disponíveis (nº de habitantes, nº de efectivos pecuários e a produção das indústrias) é possível estimar a sua quantidade. Os proprietários devem ser inquiridos sobre o destino que dão a esses resíduos e ser taxados pela opção tomada. Este instrumento pode ser imposto pelo governo central às autoridades locais, incentivando deste modo a construção de sistemas municipais ou inter-municipais de tratamento.

Para incentivar os municípios a reduzir a sua produção de lixo e a optar pela sua valorização deve ser cobrada uma taxa por cada tonelada de lixo produzida a mais que determinado patamar previamente estabelecido e por cada tonelada de resíduos depositados em aterros. Podem também ser criados prémios a atribuir aos municípios que evidenciem a hierarquia sustentável dos resíduos (reduzir, reutilizar e reciclar).

Figura 3 – Síntese dos instrumentos apresentados no desenvolvimento da digestão anaeróbia



5. CONCLUSÃO

O crescimento económico não deve ser sinónimo de degradação ambiental ou de degradação da qualidade de vida. Actualmente a actividade económica exerce fortes pressões sobre o ambiente, nomeadamente, pela deposição de resíduos. Para minorar essa pressão os resíduos têm que ser geridos respeitando a hierarquia: reduzir, reciclar e reutilizar.

As vantagens da digestão anaeróbia como processo de valorização dos resíduos orgânicos são indiscutíveis. Esta obra serviu em parte para as recordar e sintetizar. Vimos que a utilização desta tecnologia pode contribuir para a sustentabilidade de diversos sectores económicos. Os principais sectores visados e os principais impactos são os seguintes:

- Agricultura – processo de tratamento de resíduos, fonte de energia e fonte de produtos para o solo de origem orgânica;
- Indústria da Alimentação e Bebidas – processo de tratamento de resíduos e fonte de energia;
- Electricidade – produção de energia a partir de uma fonte renovável
- Água – tratamento de resíduos das ETAR's.

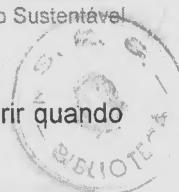
Apesar do elevado custo inicial que torna esta tecnologia pouco atractiva para os investidores, especialmente os pequenos produtores, na minha opinião a principal razão desta não ser implementada deve-se ao facto do tratamento dos resíduos não serem encarados como mais uma fase do processo produtivo. As externalidades têm de ser internalizadas.

Deve ser aplicado o princípio do poluidor pagador, no qual o poluidor deve suportar os custos do desenvolvimento das medidas de prevenção e controlo da poluição. Os custos do tratamento dos resíduos devem ser reflectidos nos preços dos bens e serviços.

A digestão anaeróbia é o processo de tratamento dos resíduos biodegradáveis que vai de encontro a este princípio e que menos efeitos tem sobre os custos de produção

Face a esta situação exige-se aos poderes públicos um pouco de clarividência na percepção das vantagens deste processo e na aplicação de medidas necessárias ao seu desenvolvimento. Algumas das medidas possíveis já provaram a sua eficácia noutros países, principalmente na União Europeia. Portugal não parte do zero, existem Estados Membros com muita experiência na implementação do biogás, e com os quais o país só tem a aprender.

Por abranger áreas tão diversas os incentivos podem provir de vários ministérios, casos do Ministério da Economia, do Ministério do Ambiente ou do Ministério da Agricultura. Mas,



independentemente da estratégia escolhida há factores que são fundamentais cumprir quando forem implementadas:

- Garantir a integração das várias políticas de modo a não criar medidas contraditórias;
- Apresentar estratégias bem definidas, ou seja, estratégias realistas, claras, eficientes e eficazes, justas e que não comprometam a competitividade nacional num mercado europeu cada vez mais liberalizado;
- Proceder a uma ampla divulgação das estratégias adoptadas;
- E desenvolver a capacidade de *enforcement*. Por muito boa que seja a medida não produz resultados se não for cumprida.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Polarizer, C. (1996), *Organic Waste Recycling: Technology and Management*, 2ª ed., England:Jonh Wiley & Sons Ltd.
2. Marchaim, U. (1992), *Biogas Processes for Sustainable Development*, FAO Agriculture Service Bulletin 9-5. Roma, Italia. Food and Agriculture Organization.
3. Ewall, M. (1999), *Primer on Landfill Gas as "Green" Energy*, Pennsylvania Environmental Network's series on Green Energy, sítio na internet: <http://www.penweb.org/issues/energy/index.html>
4. Oliveira, M. E. e Nogueira, M. H. (1987), Biogás uma Energia Alternativa, *Revista Energia Solar e Biogás*, nº 12, pp. 3-15
5. Oliveira, M. E., Marques, F. O. e Nogueira, M. H. (1989), Biogás nas Explorações Agropecuárias, *Revista Energia Solar e Biogás*, nº 21, pp. 64-66
6. Saint-Joly, C. (1988), *Biogás: Uma Técnica para Portugal?*, Lisboa, Serviço Nacional de Parques, Reservas e Conservação da Natureza
7. Centro para a Conservação da Energia (CCE), *Manual do Gestor de Energia*, CCE
8. Boyd, R. (2000), *Internalising Environmental Benefits of Anaerobic Digestion of Pig Slurry in Norfolk*, University of East Anglia, sítio na internet: www.ees.adelaide.edu.au
9. Di Berardino, S., Oliveira, M. E., Nogueira, M. H., Duarte, D. C. (2000), *Métodos de Análises Químicas*, Lisboa, Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (INETI) – Departamento de Energias Renováveis (DER)
10. Centro para a Conservação da Energia (CCE) (2000), *Guia Técnico do Biogás*, Direcção-Geral de Energia (DGE)
11. Wit, J., Keulen, H., Meer, H. G., Nell, A. J. (1998), *Animal manure: asset or liability?*, World Animal Review 88-1997/1, FAO, <http://www.fao.org/>
12. Lusk, P. (1998), *"Methane Recovery from Animal Manures: The Current Opportunities Casebook"*, U. S. Department of Energy, National Renewable Energy Laboratory (NREL), <http://www.nrel.gov/>
13. Di Berardino, S. (1997), *Curso de Digestão Anaeróbia: Digestão Anaeróbia de Resíduos e Aproveitamento Energético do Biogás*, Lisboa, INETI
14. Instituto do Ambiente (2002), *Plano Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC)*, Lisboa, Instituto do Ambiente, <http://www.iambiente.pt/>
15. IPCC (2003), *Inventário Nacional de Emissões de Poluentes Atmosféricos*, Instituto do Ambiente, <http://www.iambiente.pt/>
16. Duchateau, K., Vidal, C. (2003), *Statistics in Focus: Environment and Energy – Theme 8 – 1/2003*, European Communities, <http://europa.eu.int/comm/eurostat/>

17. European Environment Agency (EEA) (1999), *Nutrients in European Ecosystems*, Copenhagen, EEA, <http://www.eea.eu.int/>
18. European Environment Agency (EEA) (2002), *Greenhouse gas emission trends in Europe, 1990–2000*, Copenhagen, EEA, <http://www.eea.eu.int/>
19. Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (INETI) (2000), *Resíduos Industriais*, Lisboa, INETI
20. ADENE/INETI (2002), *Fórum “Energias Renováveis em Portugal”: Uma Contribuição para os Objectivos de Política Energética e Ambiental*, Lisboa, ADENE/INETI.
21. Instituto Nacional de Estatística (INE) - Divisão de Planeamento e Políticas (2002), *Agricultura Portuguesa – Principais Indicadores 2001*, Lisboa, INE - Gabinete de Planeamento e Política Agro-Alimentar
22. Di Berardino, S. (2002), *Produção Tratamento e Utilização de Biogás*, Mestrado em Engenharia da Energia, Lisboa, Universidade Nova de Lisboa
23. Instituto da Água (INAG) (2002), *Aplicação da Directiva Relativa ao Tratamento das Águas Residuais Urbanas em Portugal: Relatório da Situação em 31 de Dezembro de 2000*, Lisboa, Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente, INAG
24. CCE (2000), *Valorização Energética de Lamas de ETARs Municipais: Digestão Anaeróbia e Cogeração com Biogás*, Departamento de Recursos Renováveis, Centro para a Conservação de Energia
25. Instituto dos Resíduos (2000), *Plano de Acção para os Resíduos Sólidos Urbanos 2000-2006*, Lisboa, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Instituto dos Resíduos.
26. Associação de Municípios da Cova da Beira (AMCB) (2003), *Sistema de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos da Cova da Beira*, AMCB, <http://www.amcb.pt/>
27. Seadi, T. (2000), *Danish Centralised Biogas Plants - Plant Descriptions*, Bioenergy Department, University of Southern Denmark, <http://www.sdu.dk/>
28. Di Berardino, S. (2000), *Produção de Biogás a partir de Resíduos em Portugal: Situação Actual e Perspectivas Futuras*, Lisboa, INETI
29. Instituto dos Resíduos (2002), *Resíduos Sólidos Urbanos. Concepção, Construção e Exploração de Tecnossistemas: Projectos, metodologias e tecnologias aplicadas em Portugal no período de 1996 a 2001*, Lisboa, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Instituto dos Resíduos.
30. AEA Technology (2001), *Waste Management Options and Climate Change*, Luxembourg, DG Environment, European Commission, <http://europa.eu.int/comm/environment/waste/>

31. Carteiro, P., Berkemeier, R. (2002), *Farinhas da BSE: Proposta da Quercus poupa 45 milhões de euros por ano ao Estado*, CIR – Centro de Informação de Resíduos da Quercus, <http://www.quercus.pt/cir/>
32. Eunomia Research & Consulting (2002), *Economic Analysis of Options for Managing Biodegradable Municipal Waste - Final Report to the European Commission*, Eunomia Research & Consulting, <http://europa.eu.int/comm/environment/waste/>
33. Santos, R., Antunes, P. (1999), *Economic Instruments for Environmental Protection*, OCDE
34. Ministério da Economia (2003), *Política Energética, Síntese*
35. Direcção Geral da Energia (2001), *Programa E4 - Eficiência Energética e Energias Endógenas*, Resolução do Conselho de Ministros n.º 154/2001 de 27 de Setembro.
36. Direcção Geral de Energia (2003), *Metas indicativas relativas à produção de electricidade a partir de fontes de energia renováveis em Portugal (2002 - 2012)*.
37. Direcção Geral de Energia (2002), *Medida de Apoio ao Aproveitamento do Potencial Energético e Racionalização de Consumos*.
38. Martens, J., Lange, T.J., Cloin, J., Szewczuk, S., Morris, R., Zack, J. (2001), *Accelerating the Market Penetration of Renewable Energy Technologies in South Africa*, ECN - Energy Research Center of the Netherlands, www.ecn.nl
39. Collares-Pereira, Manuel (1998), *Energias Renováveis, a Opção Inadiável*, Lisboa, SPES, Sociedade Portuguesa de Energia Solar
40. IEA Bioenergy (2001), *Biogas & More! Systems and Markets Overview of Anaerobic Digestion*, AEA Technology Environment, UK, www.novaenergie.ch/iea-bioenergy-task37/
41. VALORSUL, (2003), *Relatório do Conselho de Administração. Exercício de 2002*, www.valorsul.pt/
42. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e Das Pescas (MARDP), (2000), *Manual Básico de Práticas Agrícolas: Conservação do Solo e da Água*
43. Electricidade de Portugal, S.A. (EDP), (2002), *Relatório de Ambiente 2001*, EDP, www.edp.pt/
44. COM(97) 599 Final, de 26.11.1997. *Energia para o Futuro: Fontes de Energia Renováveis – Livro Branco para uma Estratégia e um Plano de Acção comunitários*.
45. Comissão Europeia (2000), *Energy for the Future: Renewable Sources of Energy (Community Strategy and Action Plan). Campaign for Take-Off*, <http://europa.eu.int/comm/energy/>
46. Leitão, A. (2003), *O Impacto em Portugal*, Economia Pura, 58, pp. 28-29.
47. Sijm, J. (2002), *The Performance of Feed-in Tariffs to Promote Renewable Electricity in European Countries*, ECN - Energy Research Centre of the Netherlands, www.ecn.nl

48. Sambeek, E. (2002), *The European Dimension of National Renewable Electricity Policy Making*, ECN - Energy Research Centre of the Netherlands, www.ecn.nl
49. Odgaard, O. (2000), *Renewable Energy in Denmark*, Danish Energy Agency, www.agores.org/
50. Faber, T. Green J., Gual M. Haas R. Huber C. Resch G. Ruijgrok W. Twidell J. Edited by Reinhard Haas. (2001), *Review report on Promotion Strategies for Electricity from Renewable Energy Sources in EU Countries*, Institute of Energy Economics, Vienna University of Technology, Austria, www.energytech.at/
51. Berkemeier, R., Carteiro, P., Coelho, N. (1999), *Destinos Ambientalmente Aceitáveis para as Retiradas de Fruta*, CIR – Centro de Informação de Resíduos da Quercus, Lisboa, <http://www.quercus.pt/cir/>
52. British Petroleum (BP), (2002), *Climate Change: Our performance in 2001*, BP, www.bp.com
53. Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC), (1996), *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Reference Manual (Volume 3)*, IPCC, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.htm>
54. O'Brien, P., Hoj, J., (2001), *Encouraging Environmentally Sustainable Growth In Denmark*, Economics Department, OECD, www.oecd.org/
55. Hansen, J. (2000), *Nitrogen Balances in Agriculture*, Eurostat, Comissão Europeia, <http://europa.eu.int/comm/eurostat/>
56. FAO Statistical Database, <http://apps.fao.org/>
57. Gomes, C. (2003), Sul do país é um deserto em potência, *Quercus Ambiente*, nº1, pp. 4
58. CIR – Centro de Informação de Resíduos da Quercus, <http://www.quercus.pt/cir/>
59. Comissão Europeia (2000), *Exemplos de Compostagem e de Recolhas Selectivas Bem Sucedidas*, Comissão Europeia, Direcção-Geral do Ambiente, Bruxelas, <http://europa.eu.int/comm/environment/waste/>
60. Eunomia Research & Consulting (2002), *Financing and Incentive Schemes for Municipal Waste Management - Case Studies*, Eunomia Research & Consulting, europa.eu.int/comm/environment/waste/
61. European Environment Agency (EEA) (2002), *Biodegradable Municipal Waste Management in Europe, Part 3: Technology and Market Issues*, EEA, Copenhagen, www.eea.eu.int
62. Direcção Geral de Energia (DGE) (2003), *Factura Energética Portuguesa*, DGE, www.dge.pt/

63. Sambeek, E., Thuijl, E. (2003), *The Dutch Renewable Electricity Market in 2003. An overview and evaluation of current changes in renewable electricity policy in the Netherlands*, ECN - Energy Research Centre of the Netherlands, www.ecn.nl
64. Instituto Nacional de Estatística (INE), Infoline, Serviço Online de Informação do INE, <http://www.ine.pt/>
65. European Environment Agency (EEA) (2002), *Renewable energies: Success Stories*, EEA, Copenhagen, www.eea.eu.int
66. Dijk, A., Beurskens, L., Boots, M., Kaal, M., Lange, T., Sambeek, E., Uytterlinde, M. (2003), *Renewable Energy Policies and Market Developments*, ECN - Energy Research Centre of the Netherlands, www.ecn.nl
67. Quadro Comunitário de Apoio III, *Programa Operacional do Ambiente 2000-2006*, União Europeia
68. Poulsen, T. (2003), *Solid Waste Management*, Aalborg University, <http://www.bio.auc.dk/~tgp/>
69. Higham, I. (1998), *Economics of Anaerobic Digestion of Agricultural Waste*, AEA Technology Environment, <http://www.thepigsite.com/>
70. EPA United States Environmental Protection Agency (2002), *Managing Manure with Biogas Recovery Systems, Improved Performance at Competitive Costs – The AgSTAR Program*, www.epa.gov/agstar
71. IEA International Energy Agency (2002), *IEA Statistics, Renewables Information 2002*, IEA, OCDE, www.iea.org/
72. Nelson, C., Lamb, J. (2002), *Final Report: Haubenschild Farms Anaerobic Digester, The Minnesota Project*, www.mnproject.org
73. Noord, M., Beurskens, L. W. M., Vries, H. J. (2004), *Potentials and Costs for Renewable Electricity Generation, A data overview*, ECN - Energy Research Centre of the Netherlands, www.ecn.nl